

В. П. ГОЛОВИХИНА
В. Ф. ЗОЛОТАРЕВ

ТЕЛЕВИЗОР БЕЗ ТРУБКИ

МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 874

В. П. ГОЛОВИХИНА, В. Ф. ЗОЛОТАРЕВ

ТЕЛЕВИЗОР БЕЗ ТРУБКИ



«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1975

6Ф3
Г 61
УДК 621.397.331.24

Головихина В. П. и Золотарев В. Ф.

Г61 Телевизор без трубки. М., «Энергия», 1975.
48 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып 874).

Книга рассказывает о сущности физических явлений, положенных в основу работы твердотельных телевизионных экранов, популярно раскрывает способы создания и конструкции безвакуумных телевизоров.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся прогрессом современной науки и техники, в частности микро-, радио-, оптоэлектроники.

Г $\frac{30403-065}{051\ (01)-75}$ 304—74

Вера Петровна Головихина,
Валентин Федорович Золотарев

Телевизор без трубки

Редактор Ф. Н. Новицкий
Редактор издательства В. А. Абрамов
Художественный редактор Д. И. Чернышев
Технический редактор М. П. Осипова
Корректор Г. Г. Желтова

Сдано в набор 28/V 1974 г. Подписано к печати 10/I 1975 г. Т-03223
Формат 84 × 108 1/32 Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 2,52 Уч.-изд. л. 3,48
Тираж 30 000 экз. Зак. 269 Цена 15 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Набрано в Московской типографии № 13 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
107005, Москва, Б-5, Денисовский пер., 30.

Отпечатано в Московской типографии № 19 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Москва, Б-78, Каланчевский туп. д. 3/5. Зак. 274а

ВВЕДЕНИЕ

В нашей повседневной жизни телевизор давно стал естественным и необходимым. Многие свои свободные вечера мы с удовольствием проводим у его голубого экрана. Телевизор — это и хороший фильм и новый спектакль, это и научная беседа и последние известия, одним словом, это незаменимый, удобный источник информации.

Как известно, телевидение широко применяется и в технике, и в медицине, и на промышленнных предприятиях, и на космических кораблях. Трудно переоценить его значение в наши дни. Но наш такой привычный и удобный телевизор обладает целым рядом существенных недостатков. Мы пока еще не можем отправиться с телевизором в загородную прогулку, неудобно использовать его на движущихся объектах. Большим недостатком телевизора можно считать и его низкую надежность в условиях вибрации, ударных нагрузок, радиации, высоких температур

Самым уязвимым звеном в телевизоре является телевизионная трубка (кинескоп), она же определяет, в основном, и габариты и большую мощность, необходимую для управления электронным лучом. Чтобы освободить телевизор от этих недостатков, надо избавиться от кинескопа. Многие ученые всего мира работают сейчас над созданием телевизоров без вакуумной трубки. Вместо нее может быть использован экран (матрица), состоящий из большого числа малогабаритных световых элементов, способных работать при небольшой потребляемой мощности.

Японская фирма Мацусита ведет разработки такого экрана с размером по диагонали 33 см на 230 строк. Световыми элементами служат участки тонкого слоя сернистого цинка (размер одного элемента $1 \times 0{,}75$ мм^2). Толщина экрана приблизительно равна 3 см. Хотя изображение, получаемое на экране, пока несколько хуже по качеству (рис 1 и 2) [Л. 5], такой экран позволяет существенно снизить массу и габариты телевизора. Световыми элементами могут быть также светодиоды, представляющие собой контакт двух полупроводников, газовые колбочки, световые клапаны из сегнетоэлектрика или жидкого кристалла и т. п. Экран можно изготовить даже на гибкой, тонкой пластмассовой пленке и при переносе свертывать его в рулон, как лист бумаги

Для получения изображения световые элементы матрицы необходимо подключать поочередно к источнику напряжения. Это одна из важнейших задач, которую предстоит решить на пути создания плоского телевизора. Для последовательного подключения элементов матрицы (коммутации) используются различные методы. Прежде всего коммутаторами могут быть радиоэлектронные схемы, на выводах которых по определенным законам последовательно возникает электрическое напряжение на короткое время Коммутатором

может служить локальное электрическое напряжение, распространяющееся по твердотельной полоске. Это — электрический импульс в телеграфной линии задержки, в модели нервного волокна, в полоске полупроводника с отрицательной дифференциальной электрической проводимостью. Коммутатором может быть сгусток звуковой волны в пьезоэлектрике и т. п.

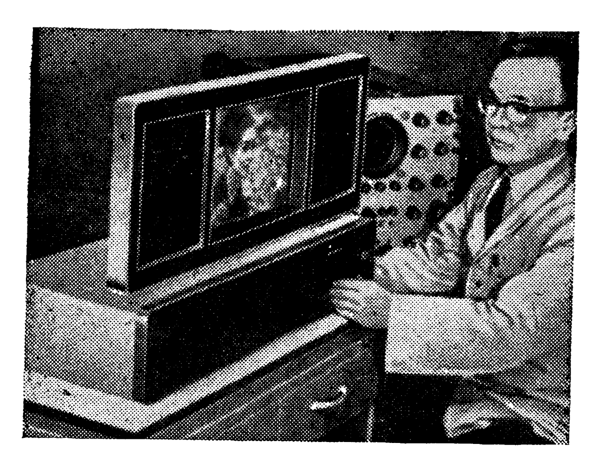




Рис. 1. Плоский экран 230 × 230 элементов японской фирмы Мацусита размером 33 см по диагонали.

Телевизоры без трубки могут быть изготовлены весьма больших размеров. В качестве примера рис. 3 [Л. 1] иллюстрирует изображение на экране на основе лампочек накаливания. Такие телевизоры используются для рекламных целей.

Таким образом, существует ряд направлений разработок телевизоров без трубки, различающихся способами создания элементарных светильников, их коммутации и методами обеспечения высокой яркости воспроизведенного изображения.

При создании телевизора без трубки необходимо решить наиболее успешным способом каждую из этих задач. Для их решения в распоряжении исследователя находится целый арсенал физических явлений в твердых телах и газообразных веществах.

Для создания матрицы светильников используются следующие *физические явления:* свечение газа (газовый разряд), инжекционная

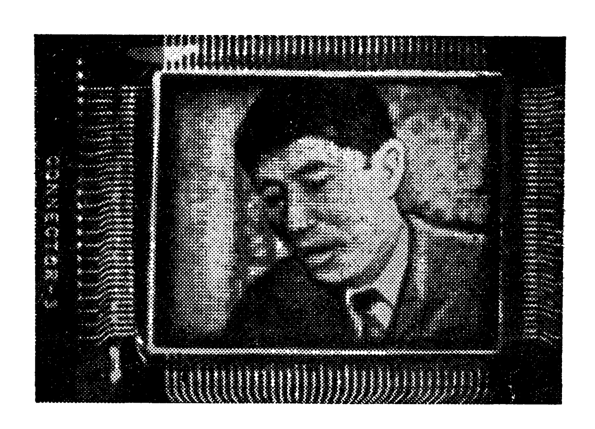


Рис. 2. Изображение получено на экране 80 × 80 элементов. Экран размером 10 × 7 см, разработан японской фирмой Мицубиси.

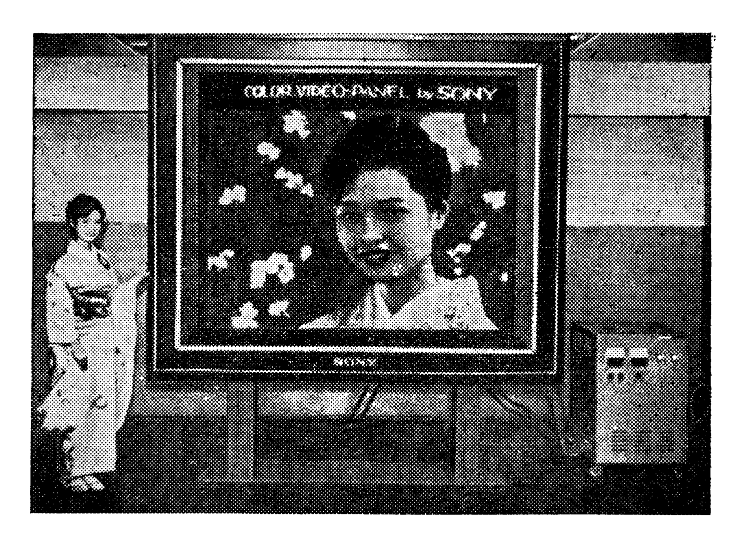


Рис. 3. Плоский экран японской фирмы Сони. Размер экрана 1,5 × 1,8 м. Светящимися элементами экрана служат лампы накаливания.

электролюминесценция, предпробойная электролюминесценция, просветление жидких кристаллов, просветление сегнетоэлектриков.

Коммутацию можно выполнить на следующих элементах: фоторезисторе; нелинейном сопротивлении; отрицательном дифференциальном сопротивлении, локальном источнике электрического поля в полупроводнике.

Существуют следующие *способы управления коммутацией:* управление логическими схемами, продвижение электрического импульса с помощью газоразрядного сдвигающего регистра, использование импульса упругой волны, дрейф доменов сильного поля, использование нейристорного импульса.

Яркость изобрижения можно повысить следующими методами: усилением яркости с помощью преобразователей света, использованием инерционности фотопроводимости, использованием инерционности жидких кристаллов, усилением с помощью сегнетоэлектрической поляризации, накоплением сигнала в линии задержки, запоминанием сигнала с помощью МОП-транзисторов.

Глава первая

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ СВЕТОВОГО ПОЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

МАТРИЦА ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

В обычных телевизорах со стеклянной трубкой свечение экрана кинескопа происходит под действием удара мельчайших заряженных частиц — электронов

Электронов в любом веществе очень много И если вещество достаточно сильно нагреть, то электроны приобретают настолько высокую скорость, что вылетают за пределы вещества Для нагрева в кинескопе служит вольфрамовая нить, разогревающаяся под действием накального электрического тока, как это происходит в любой электрической осветительной лампе (лампе накаливания) Эта накальная нить нагревает специальное вещество катода, легко отдающее электроны Для управления потоком электронов, так же как в радиолампах, служит управляющий электрод (сетка), называемый модулятором и имеющий отрицательный потенциал относительно катода Меняя величину этого потенциала, можно изменять интенсивность электронного пучка, попадающего в ускоряющее поле анода

Анод представляет собой графитовое покрытие на внутренней стенке колбы или металлический корпус, к которому подводится высокое напряжение (порядка киловольт и более) Электроны не попадают на анод, а пролетают мимо него на экран кинескопа, бомбардируя его Фокусировка луча осуществляется магнитным или электростатическим полем специальных фокусирующих устройств

Вне колбы расположена отклоняющая система, обеспечивающая развертку луча (перемещение по горизонтали и вертикали) на экране кинескопа Если управляющий потоком электронов потенциал (видеосигнал) между сеткой и анодом изменяется в соответствии с распределением яркости передаваемого объекта, то на экране кинескопа создается совокупность светлых, серых и темных точек — изображение этого объекта Разумеется, развертка луча кинескопа и луча передающей телевизионной трубки должна происходить синхронно

Почему же светится вещество экрана? Как уже отмечено, в любом веществе огромное количество электронов, но свободно передвигаются по веществу электроны только в металлах В изоляторах нет свободных электронов Для того чтобы электроны стали сво-

бодными, их надо оторвать от атомов путем сообщения им энергии. Эту энергию электроны вещества получают от сильно разогнанных электронов луча, которые, ударяясь в слой экрана, сталкиваются с электронами вещества и отрывают их от атомов, т. е. возбуждают их. Возбужденные электроны, блуждая некоторое время, называемое временем жизни электронов, наталкиваются на покинутые ими атомы и возвращаются обратно («рекомбинируют»). Естественно, что при этом они теряют избыток энергии. Избыток энергии, как правило, переходит в колебания атомов вещества. Эти колебания воспринимаются нами, как тепло, т. е. вещество при этом нагревается Происходит так называемая *безызлучательная* рекомбинация. Но в некоторых веществах этот избыток энергии освобождается в виде порции света, называемой *фотоном*. Происходит *излучательная* рекомбинация, т. е вещество светится. Таким веществом, применяемым в телевизорах, является сернистый цинк. Примечательно, что в сернистом цинке возбужденные электроны живут относительно долгое время (около 10^{-3} с), что вызывает растягивание свечения и помогает глазу воспринимать изображение на экране как целое. Конечно, неплохо придуман кинескоп, но для существования электронного луча необходимо откачивать воздух (т. е. создавать вакуум) из колбы кинескопа. Иначе электроны будут ударять о молекулы воздуха и не долетят до экрана. Кроме того, надо в колбе разместить электронную пушку, а вне ее предусмотреть место для отклоняющих катушек. Вот и получается большой размер кинескопа. В этом каждый может убедиться, заглянув в футляр телевизора. Он увидит, что почти все место в телевизоре занимает кинескоп. Поэтому для уменьшения размера телевизора (а значит, и его массы), надо изготовить безвакуумный экран. В таком телевизоре не будет электронного луча и экран сожмется до тонкой по отношению к ее размерам пластинки. Экран теперь можно вполне назвать плоским. В таком плоском экране, как в кинескопе, надо заставить последовательно во времени зажигаться участки (элементы). Следовательно, экран должен состоять из отдельных светящихся элементов, т. е. должен быть дискретным. И так как каждый элемент должен светиться по-разному, то от каждого элемента необходимо иметь выводы, т. е. электрические провода. Таким образом, экран как будто бы должен состоять из большого числа элементов со своими проводами, которые надо каким-то образом переключать. Но такой способ построения плоского экрана не только неразумен, но просто не осуществим. Действительно, для создания хорошего изображения требуется не менее $N = 400\,000$ светящихся элементов. И если на каждый элемент поставить реле для его включения, то можете себе представить, что это будет за громадное и тяжеловесное устройство. А ведь включениями реле надо еще управлять и для этого нужна огромная, просто неосуществимая схема. Вот почему светящиеся элементы объединяют с помощью проводящих шин, как это показано на рис. 4.

На рис. 4 крестиками обозначены светящиеся элементы. Если их число равно $N = 400\,000$, то количество проводящих шин уже существенно меньше: $n = 2\sqrt{N} = 1\,250$. Столько же штук потребуется и реле, ибо для того чтобы заставить светиться какой-либо элемент, достаточно его подключить через две шины, в местах перекрестия которых элемент находится. Однако это не так просто. Оказывается, что при подключении двух взаимно перпендикулярных шин светятся не только элементы в перекрестии шин, но и все

другие элементы вдоль этих шин, т. е. светится крест вместо точки. Это неприятное явление носит название кросс-эффекта. Почему же возникает кросс-эффект? Потому что путь тока имеет достаточно малое сопротивление через соседние неподключенные шины из-за связанности элементов. В результате в такой решетке элементов, называемой *матрицей*, протекает весьма сложная сеть токов. Для их изучения в Японии [Л. 1] создан телевизор, состоящий из матрицы, в узлах которой располагаются обычные электрические лампы накаливания (см. рис. 3). Экран получился огромных размеров (1,5×1,8 м^2) и мало пригоден для бытовых целей, тем более что схема управления лампочками занимает гораздо бо́льший объем по сравнению с самим экраном. Но и такой телевизор оказался полезен не только для науки. На нем легко показывать различного рода рекламные надписи и изображения. И в нашей стране в больших городах читатель может на улицах увидеть такие телевизоры.

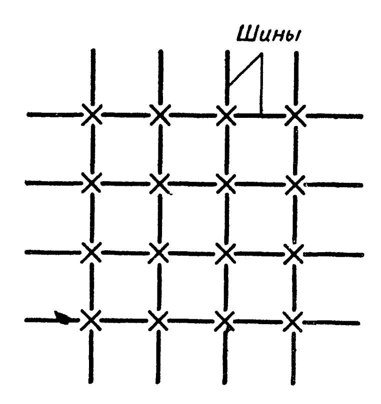


Рис. 4. Матрица светоизлучающих элементов экрана.

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Как можно видеть, плоский телевизор из накальных лампочек не может быть использован для бытовых целей. Однако экран можно сделать из других светящихся элементов. Всем вам хорошо известны светящиеся трубки, используемые в рекламных целях. В таких трубках светится газ. Газ, так же как твердое вещество, состоит из атомов, в состав которых входят также электроны. И конечно, если сумеем оторвать электроны от атомов газа, то возбужденные электроны также могут рекомбинировать, освобождая энергию в виде света. Газ при этом будет светиться. Для того чтобы оторвать электроны от атомов, можно, так же как в кинескопах, использовать сильно разогнанные электрическим полем электроны. Для разгона необходимо иметь свободные электроны. Их можно получить, нагревая электрическим током тонкую проволоку из тугоплавкого металла, как и в кинескопах (явление вылета электронов из нагретых тел называется *термоэлектронной эмиссией*). Эти электроны ускоряются под действием электрического поля. Пролетая в газе, электроны сталкиваются с атомами газа и выбивают из них вторичные электроны. После первого удара возникают два электрона (выбивающий и выбитый), которые при вторичном ударе могут породить четыре электрона, затем — восемь и т. д. Возникает быстрый рост свободных электронов. Этот процесс имеет сходство с образованием снежных лавин в горах и поэтому получил название *электронных* или *ионных лавин*. Для того чтобы электроны до соударения с атомами газа могли успеть разогнаться, необходимо, чтобы расстояние между атомами газа было достаточно

большим. Поэтому электронные лавины удобно наблюдать в разряженных газах, т. е. при пониженном давлении. При образовании достаточно большого количества возбужденных электронов заметная часть их начинает встречаться с ионами газа до разгона. Естественно, что при этом электроны возвращаются на свои места в ионах, происходит рекомбинация и свечение газа.

При получении первоначальных свободных электронов от постороннего источника, например с помощью нагретой металлической нити, образующийся газовый разряд называется *несамостоятельным*. Его неудобно использовать для создания матрицы светящихся элементов, так как необходимо создавать матрицу накальных проволочек, к которым нужно подводить электрический ток.

Однако возможно создать *самостоятельный разряд*. В этом случае свободные электроны выбиваются из электрода ионами. Ионы в тысячи и десятки тысяч раз тяжелее электронов. Поэтому удар иона о вещество электрода приводит к сильному разогреву микроскопически малого участка электрода и соответственно к термоэлектронной эмиссии. Свободные ионы в малом количестве есть в любом газе за счет ионизации космическими лучами, а они всегда имеются в окружающем нас пространстве. В дальнейшем возникающая лавина поддерживается не только ударами возросшего числа ионов, но также ударами фотонов возникающего света о вещество электрода (это явление называется *внешним фотоэффектом*) и поглощением света атомами газа (фотоионизация) При поглощении света веществом и атомами газа происходит непосредственная передача энергии электронам, которые, естественно, отрываются от атомов и становятся свободными. В самостоятельном газовом разряде устанавливается равновесие между числом возникающих возбужденных электронов и числом рекомбинирующих электронов. Сам газ при этом как бы состоит из двух газов — ионного и электронного. Энергии частиц существенно уравниваются за счет частых столкновений. Но так как электроны намного легче ионов, то их скорость существенно выше скорости ионов. Такое состояние высокоионизованного вещества называется *плазмой*.

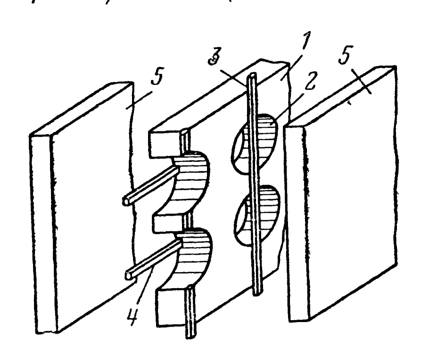


Рис. 5. Схематическая конструкция матрицы на газоразрядных элементах.

Матрица газонаполненных элементов изготовляется просто и за один технологический прием. Схематически конструкция матрицы представлена на рис. 5.

Основой матрицы служит пластина *1* из анодированного алюминия, т. е. алюминия, покрытого слоем окисла, являющегося изолятором. В такой пластине создаются отверстия *2*, расположенные рядами. Каждый ряд отверстий образует строку. На каждой строке пластины наносятся тонкие нити из металла *3*, *4*. Две серии таких проводников ориентированы взаимно перпендикулярно, так что

отверстия оказываются расположенными в местах перекрестия проводников, которые в дальнейшем будем называть *шинами.*

Пластина из анодированного алюминия вместе с шинами заключается между стеклянными пластинками 5, которые заливаются лаком с торцов. Лак служит для механического скрепления стеклянных пластин и соответственно всей конструкции матрицы, а также осуществляет ее герметизацию. Процесс заливки лаком торцов производится в среде инертного газа (неона) при пониженном давлении (110 мм рт. ст.). В результате возникает матрица отверстий, заполненных инертным газом при пониженном давлении, причем отверстия расположены в местах пересечения взаимно перпендикулярных проводящих шин. Экспериментально созданная матрица содержала 40×100 отверстий [Л. 2] диаметром 1 и с шагом 1,25 мм. Толщина всей матрицы составляла всего 9 мм. Светоотдача таких источников света около 1 лм/Вт.

При подаче напряжения выше порогового значения (250 В), между двумя взаимно перпендикулярными шинами в месте их пересечения (в отверстии) возникает плазма и свечение элемента матрицы. Яркость свечения элемента линейно зависит от тока, поэтому возможно создать изображение путем пропускания различных токов через различные элементы матрицы, используя для этого подводящие шины. Интересно, что изображение можно одновременно наблюдать с двух сторон матрицы.

Особенностью газового разряда является разрушение электродов под действием удара ионов. Для предотвращения преимущественного разрушения одного из электродов матрица питается переменным током. Требование уменьшения интенсивности разрушения электродов приводит к необходимости использования тока высокой частоты. Как показали предварительные испытания, долговечность матрицы составляет несколько тысяч часов непрерывной работы.

Матрица газоразрядных элементов, принципиально говоря, допускает создание цветного изображения.

Для каждого газа, как известно, требуется различная энергия отрыва электронов от атомов. Соответственно при рекомбинации электронов будут образовываться фотоны с различной энергией и глаз при этом воспринимает различное цветоощущение. Поэтому каждый газ обладает определенной, характеризующей его цветностью свечения. Для создания различных оттенков свечения достаточно комбинации трех цветов, например красного, синего и зеленого. Остальные цвета формируются путем сочетания трех цветов в определенной пропорции.

В таких экранах столбцы элементов образуют группы, состоящие из трех шин. Каждый столбец из группы заполнен газом, который создает свечение одного из трех цветов (например, красного, синего или зеленого).

При коммутации элементов поперек группы возникает последовательное свечение элементов трех цветов, которые при рассмотрении их с достаточно большого расстояния создают требуемое цветоощущение в зависимости от относительной яркости элементов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНЖЕКЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Под действием электрического поля обнаруживают свечение не только газообразные, но также и твердотельные вещества. Это явление носит название *электролюминесценции.* В основе свечения

лежит рекомбинация возбужденных электронов. Проблема состоит в выборе способа возбуждения, т. е. в способе передачи энергии электронам от электрического поля. Один из способов передачи энергии состоит в впрыскивании (инжекции) возбужденных электронов в твердое тело. Как уже упоминалось, в твердых телах (кроме металлов) электроны связаны с атомами и не являются свободными. Однако требующаяся для отрыва энергия в разных веществах различна. В некоторых веществах для отрыва электронов достаточно энергии тепловых колебаний атомов. Случайно при колебании соседние атомы сближаются, электроны получают достаточную энергию и становятся свободными. Блуждая по твердому телу, электрон проходит на свободное место и рекомбинирует, излучая *фонон,* т. е. передает энергию тепловому колебанию атома. В среднем число свободных электронов в твердом теле, естественно, определяется интенсивностью тепловых колебаний атомов, т. е. температурой и энергией отрыва электронов от атома. Поэтому число свободных электронов в конкретном твердом теле определяется температурой. Такие твердые тела, имеющие не очень высокую энергию отрыва электронов (эта энергия в твердом теле называется шириной зоны запрещенных энергий электронов), уже не являются изоляторами, так как в них есть свободные электроны, и называются *полупроводниками.* Интересно отметить, что оставленные электронами места у атомов твердого тела также ведут себя, как свободные заряды и называются *дырками.* Так как атомы в твердом теле расположены близко, даже связанные с атомами электроны могут переходить между атомами. Но эти переходы осуществляются только путем обмена. В каждый момент времени у каждого атома при этом сохраняется определенное число электронов, т. е. электроны не могут покинуть атомы твердого тела и перейти в электрод. В этом смысле электроны не являются свободными и не принимают участия в электрическом токе в отличие от оторванных, т. е. свободных электронов. Дырка же является отсутствием у атома связанного электрона и несет положительный заряд, что означает положительный заряд атома в целом. Вследствие существования постоянного обмена электронами между атомами твердого тела дырка свободно блуждает по веществу. Она может передвигаться к электроду, если приложено внешнее поле; это означает перенос заряда, т. е. появление электрического тока. Таким образом, дырка ведет себя как электрон противоположного знака, т. е. как элементарный положительный заряд. Естественно, что при отрыве электрона всегда появляется дырка, т. е. возникает пара свободных носителей заряда. Такие полупроводники называются *собственными.* Естественно, что потенциальные энергии электрона и дырки различаются, так как электрон при отрыве получает дополнительную энергию. Это различие равно дополнительной энергии электрона, т. е. ширине запрещенной зоны. Возможно, однако, существование в полупроводнике преимущественного количества свободных электронов или свободных дырок. Такие полупроводники соответственно называются *электронными* или *дырочными.* Эта ситуация создается путем добавления в полупроводник чужеродных атомов, т. е. *примесей.* Наиболее наглядно эта возможность проявляется на примере химического элемента кремния, для связи которого в твердом теле используются четыре электрона. При добавке химических элементов пятой группы таблицы Менделеева для осуществления химической связи с окружающими атомами у кремния

по-прежнему используется только четыре электрона. Один, пятый, электрон примесного атома оказывается не принимающим участие в связи, т. е. он слабее связан с атомом. Поэтому этот электрон легко отрывается от атома и, конечно, в первую очередь становится свободным за счет энергии тепловых колебаний атомов. Оставшаяся дырка, однако, неподвижна, так как она может лишь перейти на атом примеси. В кремнии мало атомов примеси (в лучшем случае 1 на 10 000 атомов), поэтому они располагаются далеко друг от друга и обмена дыркой произойти не может. В таком кремнии преимущественно присутствуют электроны. Полупроводник становится несобственным, т. е. примесным полупроводником *электронного типа*. Если же в кремний добавляются элементы третьей группы таблицы Менделеева, оказывается нехватка одного электрона для образования химической связи в твердом теле. Этот электрон поставляется атомами кремния и образует связь (отсутствует обмен между атомами примеси), а дырка свободно путешествует по атомам кремния. В таком полупроводнике преимущественное количество дырок, полупроводник является примесным *дырочного типа*. Электроны в электронном и дырки в дырочном полупроводниках являются *основными* носителями заряда, хотя кроме них присутствует некоторое количество носителей заряда противоположного знака, полученных отрывом от основных атомов (в данном случае атомов кремния). Эти носители заряда называются *неосновными*. При контакте электронного и дырочного полупроводников на границе образуется потенциальный барьер в связи с тем, что потенциальная энергия носителей заряда в электронном полупроводнике выше, чем в дырочном, на высоту потенциального барьера. Естественно, что электроны при переходе в дырочный полупроводник должны преодолеть этот барьер за счет энергии внешнего электрического поля (как и дырки при переходе в электронный полупроводник). После перехода электронов в дырочный полупроводник они становятся возбуждёнными (избыточными) и, рекомбинируя, вызывают излучение света (если рекомбинация излучательная). Явление выглядит таким образом, что электроны из электронного полупроводника впрыскиваются в дырочный полупроводник, а дырки — в электронный, в связи с чем оно называется *инжекцией* носителей заряда. Примером излучающих полупроводников могут служить фосфид галлия и фосфид-арсенид галлия (красное излучение), карбид кремния (зеленое излучение).

Контакт электронного и дырочного полупроводников называется электронно-дырочным переходом, а соответствующий полупроводниковый прибор — диодом. Инжекция носителей заряда происходит при приложении электрического напряжения прямой полярности, когда знаки совпадают с типом полупроводника. При обратном напряжении (минус на дырочном полупроводнике) сопротивление у диода резко возрастает в связи с тем, что теперь могут инжектироваться лишь неосновные носители заряда. Поэтому свечение наблюдается лишь при токе в прямом направлении, когда сопротивление диода весьма мало и требуется низкое напряжение питания (около вольта).

Описанное явление используется для создания люминесцентных диодов, называемых обычно *светодиодами* [Л. 2а].

Хотя при инжекции носители заряда запасают энергию, равную ширине запрещенной зоны, цвет свечения не всегда определяется этой энергией. Лишь в чистых полупроводниках с незначительной

энергией отрыва электронов от примесей энергия световых фотонов совпадает с шириной запрещенной зоны энергий, а соответствующее излучение называется *краевым*. Чаще энергия фотонов определяется энергией отрыва электронов от примесей, т. е. излучение происходит при рекомбинации носителей заряда через примесные атомы или дефекты полупроводника. Такие дефекты или примеси называются активными центрами, соответствующие специально добавляемые примеси — активаторами. Часто возможно изменение цвета свечения диода путем добавления в полупроводник соответствующих активаторов. Например, добавкой различных активаторов (цинк, кислород и др) в карбид кремния, фосфид галлия и арсенид-фосфид галлия возможно изменять цвет свечения, так что на основе одного основного вещества можно получить свечение в любой части видимого спектра. Это создает предпосылки для воспроизведения цветного изображения на основе инжекционной электролюминесценции.

Отличительной особенностью светодиодов является низкая инерционность (малое время задержки свечения по отношению к приложенному напряжению), определяемая малым временем перехода носителей заряда через электронно-дырочный переход вследствие узкой ширины последнего.

Изготовление матрицы светодиодов наиболее просто осуществляется с помощью планарной технологии производства микросхем [Л. 3]. Первоначально полупроводниковая пластина покрывается тонким слоем вещества, не пропускающего атомы активаторов и примесей даже в нагретом состоянии В качестве такого вещества может служить моноокись кремния, которая наносится путем испарения в вакууме. Затем на этот слой наносится слой фоточувствительного органического вещества (фоторезиста), в результате чего полупроводниковая пластина превращается в фотографическую пластинку. На нее проецируется изображение серии светлых пятен (окон) по числу светодиодов.

В результате освещения фоторезист в требуемых местах оказывается легко растворимым. Поэтому в дальнейшем путем промывки пластины в органическом растворителе (например, в ацетоне) фоторезист растворяется только в освещенных местах, образуя маску с серией окон

Последующая промывка пластины в неорганических растворителях (кислотах) приводит к появлению этих же окон в слое первоначально нанесенного вещества. Далее удаляются остатки фоторезиста промывкой пластины в органическом растворителе, усиленном добавками кислот. В результате на полупроводниковой пластине оказывается маска из тугоплавкого вещества Комплекс процессов изготовления маски называется *фотолитографией*.

Помещая такую пластинку в пары активатора и примесей при высокой температуре, можно получить серию электронно-дырочных переходов, так как примеси внедряются в полупроводник лишь через оголенные места, т. е. через окна в маске.

Следует отметить что описанные операции необходимо производить не менее 4 раз.

В качестве примера можно привести матрицу светодиодов из фосфида галлия, описанную в работе [Л. 4]. Матрица состоит из 35 светодиодов из фосфида галлия. Такое устройство площадью 1 мм² при токе 50 мА может обеспечить яркость свечения 7 000 св/м²,

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДПРОБОЙНОЙ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Описанная в предыдущем параграфе матрица светодиодов формируется в монолитной полупроводниковой пластине. Возможно, однако, создание полупроводниковых электролюминесцирующих элементов на любой подложке — пластине. В этом случае принцип действия светоизлучающих элементов основан на явлении предпробойной электролюминесценции. В качестве полупроводника используется, как правило, сернистый цинк, легированный активаторами. Цвет свечения может изменяться в видимой области спектра электромагнитного излучения от голубого до желто-оранжевого в зависимости от материала активатора (марганец, алюминий, хлор, медь и т. д). Тонкодисперсный порошок сернистого цинка взвешивается в изолирующей органической связке, например в лаке. Полученная смесь наносится с помощью пульверизатора на изолирующую подложку с серией параллельных проводящих шин. После высушивания наносится серия проводящих прозрачных шин, ориентированная перпендикулярно нижним шинам. В результате получается матрица элементов, расположенных в перекрестиях взаимно перпендикулярных шин. Каждый элемент матрицы представляет конденсатор, в изолирующей прослойке которого вкраплены зерна сернистого цинка. Естественно, что свечение возможно только на переменном токе, так как постоянный ток не протекает через такую систему. При приложении напряжения в каждом зерне носители заряда разделяются, прижимаясь к краям зерна под действием электрического поля. При достаточно сильном поле, приближающемся к пробойному (разрушающему изолирующую прослойку), количество зарядов на краях зерен значительно превышает концентрацию носителей заряда до приложения электрического поля. Концентрация носителей заряда в середине зерна при этом, однако, не убывает, так как пополняется под действием электрической энергии до первоначальной величины. Таким образом, добавочная концентрация носителей заряда у краев зерна оказывается избыточной. Явление увеличения концентрации носителей заряда под действием электрического поля без ударной ионизации атомов вещества носит название *эффекта поля*. При снятии напряжения избыточные заряды стекают внутрь кристалла и рекомбинируют, вызывая вспышку излучения. При перемене направления электрического поля происходит аналогичная вспышка. Таким образом, появляются вспышки с частотами вдвое больше частоты внешнего электрического поля. Эти вспышки носят название *волн яркости*. Естественно, что с увеличением частоты питающего напряжения должно быть увеличение яркости свечения, так как вспышки происходят чаще. Однако это справедливо до тех пор, пока яркость вспышек успевает нарасти до своего максимального значения или заряды не будут успевать смещаться к краям зерен из-за высокоомности зерен. Далее яркость вспышек будет уменьшаться. Среднее значение яркости свечения электролюминесцентных конденсаторов будет стремиться к насыщению с увеличением частоты напряжения, хотя количество вспышек будет расти. Насыщение наступает при частотах около 100 кГц.

Интенсивность свечения электролюминесцентного конденсатора определяется числом зерен поперек слоя. Число зерен может быть значительным при достаточно толстом слое. Однако при этом возрастает требуемое напряжение питания до нескольких сотен

вольт. Напряжение питания может быть снижено при сохранении высокой яркости путем уменьшения размеров зерен.

Напряжение питания может быть снижено также путем нанесения электролюминесцентного слоя испарением сернистого цинка в вакууме (сублимация слоев). При этом появляется свечение слоя также и на постоянном токе и обусловлено, по-видимому, инжектирующим действием контактов. Долговечность таких слоев, однако, не велика и обусловливается, вероятно, разрушением электродов за счет электролиза в высоких электрических полях. В связи с недолговечностью (исчезновением способности светиться с течением времени) сублимированных слоев при создании телевизионных экранов используются в основном порошковые слои. В работе [Л. 5] матрица твердотельного экрана состояла из 230 строчных шин с 230 элементами электролюминесцентного слоя в каждой строке. Размер элементов равен $1 \times 0{,}75$ мм^2. Матрица экрана испытана в режиме вещательного телевизионного стандарта. Кросс-эффект уничтожен путем подачи встречного напряжения на неработающие в данный момент времени строчные шины.

СОЗДАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЖИДКИХ И СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ

В рассмотренных ранее способах формирования изображения матрица состоит из светящихся элементов. Возможно, однако, использование постороннего источника света, например лампы накаливания, если матрица элементов при этом будет состоять из ячеек с регулируемой прозрачностью. В этом случае изображение формируется путем управления прозрачностью ячеек матрицы. Одна из возможностей в этом направлении открывается с применением жидких кристаллов.

Молекулы жидкого кристалла расположены упорядоченно. Они имеют цилиндрическую форму и расположены параллельно. В нормальном, не возмущенном состоянии свет свободно проходит между молекулами и кристалл прозрачен. При приложении электрического поля напряженностью выше 10^3 В/см в жидкости возникает ионный ток. Электрическое поле иона воздействует на диполи молекул жидкого кристалла, ориентируя их вокруг себя. В результате вокруг иона возникает турбулентная неоднородность [Л. 6а] с измененным коэффициентом преломления, рассеивающая свет. Вследствие этого кристалл мутнеет. Это явление носит название эффекта *динамического рассеяния.* Размеры неоднородностей лежат в пределах 1—5 мкм, т. е. превышают длины волн видимого спектра в 5—10 раз Вследствие этого рассеяние света не зависит от длины волны, т. е. при освещении белым светом кристалл также окрашивается в белый цвет. При освещении монохроматическим светом кристалл окрашивается в такой же цвет. Степень прозрачности и, следовательно, яркость кристалла зависят от величины ионного тока, т. е от приложенного напряжения. Так как при наблюдении эффекта динамического рассеяния протекает ионный ток, происходит разрушение электрода. Для предотвращения разрушения электродов необходимо использовать переменный ток низкой частоты (60 Гц). Существенно, что состояние динамического рассеяния сохраняется некоторое время после снятия напряжения. Это облегчает воспроизведение изображения, приводя к увеличению средней яркости.

Высокое сопротивление кристалла (1—5·10^{10} Ом·см) обеспечивает малое потребление энергии. Конструкция матрицы элементов (рис. 6) представляет собой стеклянную плоскую кювету *1*, на стенках которой нанесены параллельные шины *2, 3* из проводящего материала, например окиси кадмия или олова. Шины *2* и *3* на противоположных пластинах ориентированы взаимно перпендикулярно. Расстояние *d* между электродами, т. е. толщина кюветы, составляла 12 мкм и устанавливалась прокладками из тефлона *4* по периметру стеклянных пластинок [Л. 6]. Между пластинами помещался жидкий кристалл *5*. При толщине кюветы 12 мкм напряжение питания составляло 6 В. Таким образом, возникает матрица элементов жидкого кристалла, состоящая из порций жидкого кристалла в местах перекрестий взаимно перпендикулярных шин. Путем подачи различных напряжений на шины возможно создание рельефа прозрачности кристалла за счет динамического рассеяния света элементами в местах перекрестий. Недостатком такой матрицы является инерционность, допускающая воспроизведение элемента изображения за время не менее 1 мс. Время релаксации динамического рассеяния при относительно низких напряжениях лежит в пределах 10—200 мс. При достаточно сильном увеличении напряжения низкой частоты (50—150 В) время релаксации снижается до 1 мс [Л. 6]. Этого недостаточно для вещательного телевидения, требующего времени переключения элемента за 0,1 мкс. Достоинством матрицы является высокая яркость, обеспечиваемая мощным внешним источником света. Это позволяет проецировать изображение на большой экран.

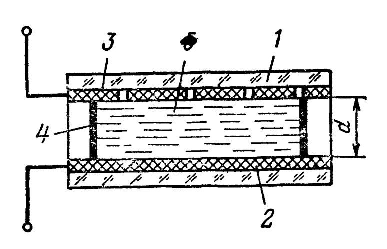


Рис. 6. Схематическая конструкция матрицы на основе жидкого кристалла.

Изменение прозрачности матрицы элементов возможно также с помощью сегнетоэлектрических кристаллов, например титаната висмута [Л. 7]. Прозрачность элементов матрицы изменяется за счет изменения плоскости поляризации света.

Что представляет собой всем нам известный свет? Он представляет собой изменение во времени и пространстве электрического и магнитного полей. Для любого света электрическое (и магнитное) поле всегда перпендикулярно направлению светового луча, т. е. направление действия силы поля лежит в плоскости, перпендикулярной лучу света. Однако в этой перпендикулярной плоскости все направления в угловых пределах от 0 до 360° будут перпендикулярны данному световому лучу.

Поляризованный свет — это такой свет, в котором направление электрического (и магнитного) поля имеет строго определенный угол ориентации в перпендикулярной лучу плоскости, не изменяющийся во времени. Обычный свет, однако, не поляризован. Как уже упоминалось, световая энергия излучается порциями (фотонами). При этом электроны излучают эти порции независимо друг от друга, поэтому излучаемые ими световые колебания имеют различные направления колебаний электрического поля. Световой луч оказывается состоящим из колебаний электрического поля в самых

различных направлениях. Если же на пути светового луча поставить пластину поляризатора (она прозрачна), то она пропускает лишь световые колебания с определенным направлением колебаний электрического поля (и магнитного, конечно, тоже). Поэтому после прохождения через поляризатор луч становится плоско поляризованным. Пропустим теперь луч еще раз через пластину поляризатора (она на вид также прозрачна), тогда луч поглотится в ней, если поляризатор ориентирован (повернут) соответствующим образом. При повороте пластины поляризатора на 90° луч свободно проходит. Вторая пластина поляризатора называется анализатором. Когда луч не проходит через поляризатор и анализатор, говорят, что они скрещены.

Если между скрещенными анализатором и поляризатором поместить вещество, способное изменить направление плоскости поляризации светового луча (это явление называется вращением плоскости поляризации), то анализатор просветлится, так как теперь направление колебаний электрического поля изменено.

Если размер вращающего плоскость поляризации вещества меньше сечения луча, то анализатор просветлится только в том месте, где часть луча прошла через вращатель поляризации и на пластине анализатора возникает изображение вращающего вещества.

Вращать плоскость поляризации способны вещества, называемые сегнетоэлектриками. Они названы так потому, что впервые это явление обнаружено с помощью сегнетовой соли.

В сегнетоэлектриках существуют области, называемые *доменами,* на которых имеется электрический заряд. Явление существования электрического заряда также называется *поляризацией вещества.* Эти домены как раз и способны вращать плоскость поляризации света. Электрическое поле, вызванное в доменах собственными зарядами, называется *спонтанной* (самопроизвольной) поляризацией. Из-за существования тепловых колебаний в нормальном состоянии домены сегнетоэлектрической пластины хаотически ориентированы, и поэтому такая пластина не обнаруживает вращения плоскости поляризации света. Если же к пластине подвести электрическое напряжение (т. е. поместить пластину в электрическое поле), домены выстраиваются в одном направлении. Это явление называется прорастанием доменов, в результате которого вся пластина превращается в один огромный домен Теперь можно сегнетоэлектрическую пластину поместить между поляризатором и анализатором, которые можно скрестить, в результате чего вся конструкция станет непрозрачной для светового луча. Если теперь в локальных участках сегнетоэлектрической пластины подвести электрическое поле противоположного направления по отношению к спонтанной поляризации, то произойдет изменение поляризации на противоположное направление. В этих местах вращение плоскости поляризации света изменится и устройство просветлится. Степень просветления определится величиной переполяризации и будет управляться величиной приложенного напряжения переполяризации.

Матрица элементов схематически изображена на рис. 7. На пластину-поляризатор *1* направлен параллельный пучок света. После поляризатора свет проходит через сегнетоэлектрическую пластину *2*, заключенную между светопроницаемыми шинами *3* и *4*. Далее пучок света проходит через пластину-анализатора *5*, на поверхности которой можно наблюдать изображение. Изображение можно наблюдать также и на экране, размер которого может быть сделан

существенно больше. Для этого прошедший пучок света необходимо расширить с помощью объектива. Перед воспроизведением каждого кадра изображения необходимо на все шины *3* и *4* подать электрическое напряжение, вызывающее спонтанную поляризацию пластины *2* и соответственно непрозрачность матрицы. Далее степень и места просветления устанавливаются подачей напряжения противоположной полярности на выбранные шины *3* и *4*. Достоинством такой матрицы является сохранение переполяризации длительное время. Поэтому изображение может быть записано и со-

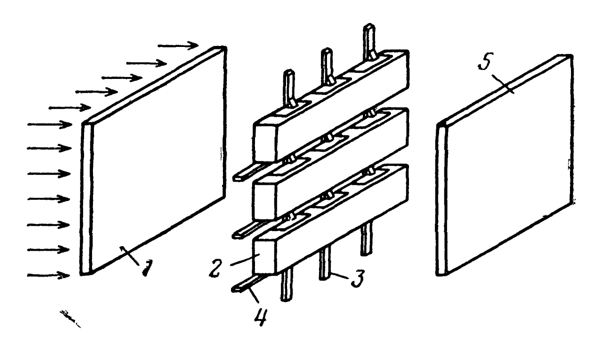


Рис. 7. Принципиальная конструкция экрана на основе сегнетоэлектрика.

хранено. Уничтожение изображения перед сменой кадра осуществляется путем подачи на все шины матрицы импульса электрического напряжения, приводящего к равномерной поляризации всего кристалла до уровня спонтанной поляризации. Высвечивающий видеосигнал в процессе воспроизведения кадра изображения создает рельеф переполяризации.

Так как пластина *2* сегнетоэлектрика является фактически изолятором, матрица потребляет незначительную активную мощность. В работе [Л. 7] использована толщина пластины сегнетоэлектрика 0,05 см, которая требует напряжения питания 150 В (необходимое электрическое поле составляет примерно 3 кВ/см). Размер элементов матрицы $0,5\times0,5$ мм^2. Для целей вещательного телевидения размер пластины при этом равен 33×25 см^2. Эффективная потребляемая мощность 0,015 Вт/см^2. Контраст изображения достигнут 50 : 1.

Глава вторая

СПОСОБЫ КОММУТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

КОММУТАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОЗАИКИ ПРОВОДЯЩИМ КАНАЛОМ В НЕЛИНЕЙНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ

Как видно из предыдущей главы, матрица светоизлучающих элементов состоит из взаимно перпендикулярных проводящих шин. Для создания светящейся точки необходимо приложить электрическое напряжение на шины, в местах пересечения которых находится выбранный элемент. Однако ток при этом будет течь не только через выбранное перекрестие. Ток потечет также через соседние элементы вдоль шины, попадая на противоположные перпендикулярные шины. Далее ток потечет через все окружающие перекрестия на проводящие шины, параллельные рассматриваемой шине, и с них через элементы — на противоположную подключенную шину. Этот паразитный ток окружающих элементов оказывается значительно больше рабочего тока, так как сопротивление этому току много ниже. Естественно, что под действием паразитного тока будут светиться элементы, расположенные вдоль подключенных шин. Таким образом обнаружится вместо выбранного элемента свечение креста с более яркой точкой в центре. Это явление, как говорилось выше, называется эффектом пересечения или кросс-эффектом. Кросс-эффект в некоторых случаях приводит к размытию изображения настолько, что экран совершенно не выполняет своих функций. Уничтожение кросс-эффекта осуществляется путем включения нелинейного сопротивления [Л. 8] последовательно с элементом матрицы. Нелинейное сопротивление (например, из карбида кремния) обладает нелинейной вольт-амперной характеристикой. Ток через него мал при малых напряжениях, но резко повышается с увеличением напряжения. Таким образом, нелинейное сопротивление выполняет роль ключа. Оно подбирается таким образом, чтобы при приложении напряжения питания его величина становилась существенно ниже сопротивления светоизлучающего элемента матрицы, а при половинном напряжении оставалась достаточно высокой. Тогда напряжение питания оказывается приложенным только к светоизлучающему элементу в перекрестии запитанных шин. Свечение креста исчезает. К нелинейному сопротивлению, однако, предъявляются относительно жесткие требования. При большом числе светящихся элементов накапливается световой фон даже при слабом свечении креста, так как число светящихся под действием паразитного тока элементов матрицы возрастает. Кратность изменения нелинейного сопротивления при повышении напряжения от половинного значения до полного должна превышать число шин.

Следует отметить, что нелинейное сопротивление непрозрачно и поэтому не может быть использовано в ряде конструкций плоских экранов.

ОПТИЧЕСКАЯ КОММУТАЦИЯ

Нелинейное сопротивление обладает невысокой кратностью, т. е. слабо изменяет свою величину в зависимости от приложенного напряжения (в несколько десятков раз). Поэтому перспективным представляется замена нелинейного сопротивления слоем фотопроводящего вещества [Л. 8].

Фотопроводимостью называется уменьшение сопротивления полупроводника при освещении. Фотоны излучения, поглощаясь, отрывают электроны от атомов полупроводника. Это вызывает увеличение числа свободных электронов и, следовательно, уменьшение сопротивления полупроводника. Инерционность фотопроводимости, т. е. задержка изменения сопротивления после начала освещения, определяется временем жизни электронов в свободном состоянии. В полупроводниках с высокой энергией отрыва электронов (т. е. зоны запрещенных энергий), однако, всегда существуют дефекты, способные связывать носители заряда. Их называют ловушками. Ловушки могут существенно увеличить инерционность, так как на их заполнение требуется дополнительное время. Ловушки увеличивают также время восстановления сопротивления после прекращения освещения полупроводника, так как некоторое время происходит освобождение носителей заряда из них за счет энергии тепловых колебаний и пополнение свободных носителей заряда при отсутствии освещения (наряду с рекомбинацией носителей заряда).

Создание канала в фотопроводящем слое, подключающего светоизлучающий элемент, возможно осуществить с помощью подвижного луча света. Однако использование устройства формирования и отклонения светового луча приводит к значительному увеличению габаритов твердотельного экрана и поэтому нецелесообразно. Гораздо целесообразнее использовать для создания коммутирующего светового пятна электролюминесцентный слой. В этом случае конструкция матрицы [Л. 8] схематически иллюстрируется рис. 8, эквивалентная схема элемента матрицы — рис. 9.

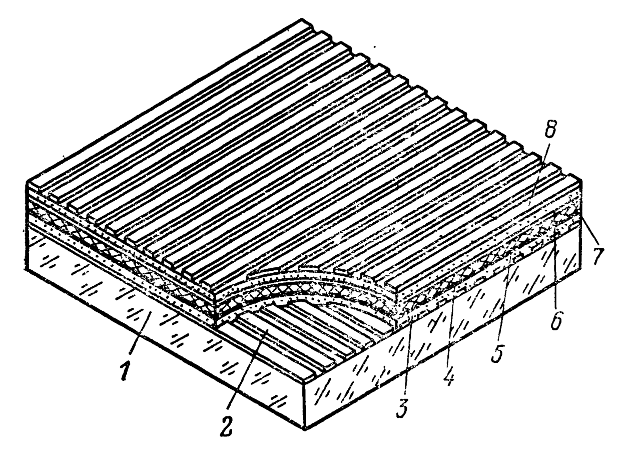


Рис. 8. Конструкция электролюминесцентно-фотопроводникового матричного экрана.

На стеклянную пластину *1* наносятся прозрачные проводящие шины *2*, на которые наносится слой *3* электролюминофора. На электролюминофор *3* нанесен непрозрачный слой *4* для исключения влияния свечения изображения в слое *3* на фотопроводящий слой *5* (как правило, высокочувствительного фоторезистора из сернистого кадмия или селена). Фотопроводящий слой *5* покрывается прозрачным слоем *6*, на который наносится коммутирующий электролюминофорный слой *7* и проводящие шины *8*. Слой *6* заземляется. При приложении напряжения на выбранные шины *2* и *8* в месте их перекрестия зажигаются участки электролюминофорных слоев *3* и *7*. Излучение слоя *7* вызывает понижение сопротивления участка фотопроводящего слоя *5*, что приводит к разгоранию участков слоев *3* и *7*. Сопротивление фотопроводящего слоя уменьшается в десятки тысяч раз. Кросс-эффект значительно ослаблен.

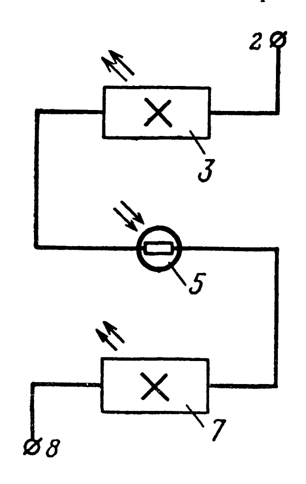


Рис. 9. Эквивалентная схема элемента по рис. 8.

Более высокая кратность изменения сопротивления фотопроводящего слоя допускает использование бóльшего числа элементов матрицы по сравнению с применением нелинейного сопротивления. К сожалению, инерционность высокочувствительных фотопроводящих слоев (миллисекунды и более) ограничивает скорость переключения шин. Для целей вещательного телевидения инерционность фотопроводимости в рассмотренной конструкции не должна превышать 0,1 мкс.

ОБРАЗОВАНИЕ ПРОВОДЯЩЕГО КАНАЛА С ПОМОЩЬЮ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Высокая инерционность высокоомных фотопроводящих слоев не допускает возможности обеспечить быстрое разгорание светоизлучающего элемента матрицы, требующееся для бытовых телевизоров (около десятимиллионной доли секунды). Малую инерционность могут обеспечить нелинейные элементы на основе отрицательного дифференциального сопротивления [Л. 9]. Одним из таких элементов является четырехслойный диод (тиристор). Тиристор состоит из четырех слоев с чередующимися типами проводимости *p-n-p-n*, образующих три последовательно соединенных электронно-дырочных перехода (рис. 10, *а*). Буквой *n* обозначен электронный полупроводник, буквой *p* — дырочный. При приложении напряжения крайние электронно-дырочные переходы смещены в прямом направлении и являются низкоомными. Центральный переход смещен в запорном направлении и имеет высокое сопротивление. Крайние элекронно-дырочные переходы инжектируют к центральному переходу неосновные носители заряда, приводящие к усилению тока через тиристор. Таким образом, тиристор фактически состоит из двух транзисторов

T_1 и T_2 рис. 10, *б*. В кремниевых электронно-дырочных переходах помимо инжектирующего тока протекает генерационный ток. Он вызван тем, что в объеме электронно-дырочных переходов создаются электронно-дырочные пары за счет энергии тепловых колебаний. Генерационный ток создается движением электронов в электронный полупроводник и дырок в дырочный полупроводник под действием внутреннего электрического поля электронно-дырочного перехода, т. е. добавляет основные носители заряда, не изменяющие сопротивление центрального перехода (как уже упоминалось в предыдущей главе, ток в запорном направлении электронно-дырочного перехода создается неосновными носителями заряда).

В кремниевых электронно-дырочных переходах при малых напряжениях генерационный ток существенно превышает инжекционный ток и поэтому усиление тока центрального перехода мало. Однако генерационный ток слабее растет с увеличением напряжения по сравнению с инжекционным током и поэтому с увеличением напряжения на тиристоре растет усиление тока центрального перехода тиристора. При некотором напряжении, называемом напряжением включения, усиление тока в тиристоре достигает единицы, что вызывает дальнейший самопроизвольный рост тока тиристора по экспоненциальному закону во времени В результате сопротивление тиристора резко падает Таким образом, тиристор является электронным ключом, сопротивление которого резко падает при напряжении включения.

В процессе резкого роста тока напряжение на тиристоре уменьшается, переключаясь на сопротивление последовательно включенного светоизлучающего элемента матрицы. Отношение прироста напряжения на тиристоре (этот прирост отрицателен, так как напряжение убывает) к приросту тока, называемое *дифференциальным сопротивлением,* является отрицательным.

Снижение напряжения на низкоомном тиристоре, естественно, приводит к уменьшению усиления тока (падает инжекционный ток крайних электронно-дырочных переходов). Как только усиление тока снизится до значения меньше единицы, произойдет стремительный рост сопротивления тиристора. Электронный ключ выключается. Кратность изменения сопротивления тиристора достигает сотни тысяч. Время включения тиристора может составлять десятимиллионные доли секунды и менее.

Матрица тиристоров может быть изготовлена с помощью планарной технологии изготовления микросхем, описанной в предыдущей главе. Она представляет собой пластину полупроводника, на которую легко может быть нанесен слой

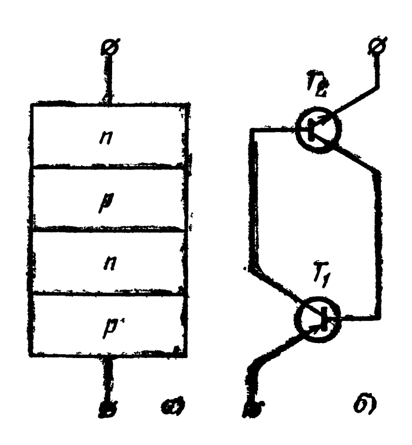


Рис. 10. Тиристор.

а — схематическая конструкция тиристора; *б* — эквивалентная схема тиристора.

электролюминофора, покрытый серией прозрачных проводящих шин.

Еще более пригодными в качестве нелинейных элементов являются участки слоя стеклообразного полупроводника, также обладающего отрицательным дифференциальным сопротивлением [Л. 10]. Слой стеклообразного полупроводника толщиной около микрометра наносится путем испарения халькогенидного стекла в вакууме на подложку с проводящими электродами.

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫМ ПОЛЕМ ДОМЕНА

При матричной конструкции экрана напряжение на шины подается от внешнего источника. Возможно, однако, подведение источника питания непосредственно к элементам излучателя. Для этого необходимо использовать *области сильного* электрического поля (так называемые домены сильного поля), перемещающиеся в твердом теле. Домены сильного поля могут возникать на основе эффекта Ганна [Л. 11] и электроакустического усиления [Л. 12].

Эффект Ганна состоит в следующем. Оторванные с помощью тепловой энергии от атомов электроны в действительности не являются полностью свободными в твердом теле. Энергия оторванного от атома электрона не может изменяться непрерывно. Она изменяется порциями. Эти порции весьма малые, трудно обнаруживаемые экспериментально, но все-таки они существуют. И электрон, ускоряясь под действием электрического поля, наращивает энергию скачками. Естественно, что чем больше эти скачки, тем больше энергии передается электрону и он сильнее ускоряется электрическим полем. Уровень энергии, принимаемой от электрического поля, количественно характеризуется величиной, называемой подвижностью. Подвижность — это средняя скорость, которую электрон приобретает в единичном электрическом поле. Подвижность электронов выше, если энергия может приниматься ими большими порциями. Область *энергий оторванных* от атомов в твердом теле электронов называется зоной проводимости. Чем гуще расположены энергетические уровни в зоне, тем ниже подвижность электрона. В некоторых полупроводниках зона проводимости состоит из двух и более систем уровней. Если одна зона с густыми уровнями несколько поднята по отношению к зоне с редкими уровнями, то может наблюдаться эффект Ганна. Оторванные тепловой энергией электроны имеют высокую подвижность, так как находятся в редкой зоне. Они легко ускоряются под действием электрического поля, приобретая энергию и поднимаясь вверх по зоне проводимости (такие электроны называются горячими электронами). При этом они попадают в зону с густыми уровнями и их подвижность резко падает. Далее электроны ускоряются электрическими полями слабее. Естественно, что сопротивление электрическому полю возрастает и ток уменьшается. Наступает парадокс, называемый эффектом Ганна, когда с увеличением электрического поля (т. е. действующей на электроны силы) ток не растет, а падает. Отношение приращения электрического напряжения к электрическому току, называемое дифференциальным сопротивлением, становится отрицательным. Если к длинной полоске полупроводника, например, из мышьяковистого галлия приложить достаточно высокое внешнее напряжение, то разогревшиеся электроны (там, где поля выше, т. е. в местах нарушенного полупроводника, под контактами) за счет

эффекта Ганна приведут к локальному увеличению сопротивления полупроводника. На этом участке напряжение увеличится, что приведет к еще большему росту сопротивления, и т. д.

В результате электрическое поле стягивается в одну область полупроводниковой пластины, т. е. образуется домен сильного поля. Так как электроны под действием источника напряжения постоянно входят в полупроводник из контакта и двигаются по полупроводнику (течет электрический ток), то домен не остается на месте, а отрывается от электрода и дрейфует к противоположному электроду. Этот домен можно использовать в качестве подвижного источника напряжения для переключения светоизлучающих элементов. Для этого их необходимо нанести на полоску *1* полупроводника (рис. 11).

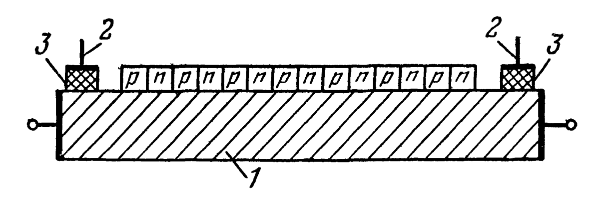


Рис. 11. Схематический разрез вдоль строки плоского экрана с разверткой доменом сильного поля.

В момент прихода домена к прилегающему светоизлучающему элементу в нем возникает ток под действием поля домена и появляется свечение. Интенсивность свечения можно регулировать, изменяя напряжение питания Это напряжение питания сосредоточено почти полностью в домене. Поэтому напряжение в домене также будет изменяться и, следовательно, будет обеспечиваться различная яркость светоизлучающих элементов. Время свечения равно времени прохождения доменом своего размера. Оно весьма мало (скорость домена в мышьяковистом галлии около 10^5 м/с). Однако за это время свечение должно произойти, т е светоизлучающие элементы должны быть малоинерционными Малой инерционностью обладает инжекционная электролюминесценция, т. е. описанный метод пригоден для коммутации светодиодов.

Конструкция матрицы теперь изменяется. Матрица состоит из серии полупроводниковых полосок *1*, на одну из сторон которых нанесены светодиоды (*p-n* переходы). Пересекающиеся шины отсутствуют Поэтому отсутствует также и кросс-эффект.

Как только домен доходит до конца полоски *1*, он исчезает. Однако поле в полупроводнике повышается снова до порогового и поэтому сразу же возникает в начале полоски *1* новый домен сильного поля Таким образом, в таких устройствах отсутствует потребность в блоках управления.

Зародившийся домен может существовать также и при некотором снижении электрического поля. Следовательно, возможно получить домен сильного поля при пониженном внешнем поле, но путем запуска дополнительным электрическим импульсом (кратковременным повышением напряжения питания до порогового). В этом случае после прохождения через полупроводниковую полоску новый домен самопроизвольно не возникает. Однако появляется возмож-

ность передачи домена между строками (параллельными полупроводниковыми полосками 1 с нанесенными на них светодиодами). Для этого на концы полосок 1 наносятся емкостные электроды 2 (рис. 11), изолированные слоем диэлектрика 3. Электрод 2 конца предыдущей строки замыкается с помощью проводящей полоски с электродом 2 начала последующей строки. Ко всем параллельным полоскам 1 прикладывается напряжение питания ниже порогового. На электрод 2 крайней строки подается электрический импульс, вызывающий зарождение домена. Проходя около концевого электрода 2, домен генерирует на нем импульс напряжения, под действием которого и зарождается домен сильного поля в начале последующей строки. Таким образом, формируется непрерывная построчная развертка, не требующая блоков разверток. Большой трудностью при создании экранов в этом случае является, однако, высокий уровень рассеивающей мощности. Домены сильного поля возникают в относительно низкоомных кристаллах (1—10 Ом·см) при значительном электрическом поле (500—1000 В/см). При этом через строки, в которых отсутствует домен сильного поля, течет значительный ток, вызывающий непроизводительные затраты энергии, которую необходимо отводить.

Кадровая синхронизация в экранах на основе доменов сильного поля осуществляется путем запуска домена сильного поля в начале первой строки. В строчной же синхронизации надобность совершенно отпадает, так как скорость распространения домена сильного поля строго постоянна. Поэтому строго фиксировано начало воспроизведения строк.

Более перспективными являются электроакустические домены сильного поля, распространяющиеся с меньшей скоростью, равной скорости звука в твердом теле. Электроакустические домены обнаружены в кристаллах сернистого кадмия. Сернистый кадмий обладает *пьезоэффектом,* т. е. на нем возникают электрические заряды под действием механического давления. Наоборот, при приложении электрического поля сернистый кадмий изменяет свои размеры. Эффект называется *пьезострикцией.* Поэтому тепловые колебания, являющиеся механическими колебаниями атомов сернистого кадмия, сопровождаются электрическими колебаниями. Так как тепловые колебания распространяются со скоростью звука, то и скорость распространения электрических колебаний также равна скорости звука.

При распространении этих колебаний около электронов в твердом теле происходит взаимодействие, приводящее к ускорению электронов. Пока электроны не двигаются под действием внешних сил (электрического поля нет), скорость распространения тепловых колебаний в противоположных направлениях одинакова относительно электрона. На электрон действуют противоположные силы одинаковой величины, и равновесие не нарушается. Если же электрон двигается под действием внешнего электрического поля, скорость распространения тепловых колебаний по направлению движения электрона ниже относительно электрона. Время действия силы на электрон со стороны электрических колебаний больше в сторону движения электрона, чем в противоположном направлении (колебания быстрее пролетают около электрона). В результате электрон ускоряется, т. е. его подвижность увеличивается. Однако ускорение происходит лишь до тех пор, пока скорость электрона не сравняется со скоростью распространения электрических колебаний, т. е. со скоростью звука. Как только электрон начинает двигаться

быстрее электрических колебаний, наоборот, он отдает энергию колебаниям. Подвижность электрона уменьшается, что и приводит к возникновению домена сильного поля. Электрическое поле стягивается в локальную область почти полностью. В остальных местах полупроводниковой пластины остается поле, необходимое для разгона электронов до скорости звука. С этой скоростью и движется электроакустический домен сильного поля.

Так как скорость распространения домена постоянна, а время высвечивания строки в телевизоре вполне определенное (64 мкс), то размер экрана оказывается также вполне определенным и равным около 20 см. Число элементов определяется размером домена, который может меняться в сернистом кадмии от 10 мкм и выше в зависимости от чистоты материала. Таким образом, в строке может быть обеспечено не менее 10 000 элементов.

Глава третья

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВЕРТКОЙ

КОММУТАЦИЯ ШИН МАТРИЦЫ С ПОМОЩЬЮ СХЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Изображение на телевизионном экране создается последовательным высвечиванием отдельных элементов матрицы. Поэтому для подведения напряжения сигнала к элементам матрицы необходимо поочередно переключать шины с весьма высокой скоростью. Время переключения одного светоизлучающего элемента равно примерно десятимиллионной доле секунды, чтобы за время создания одного кадра изображения (1/25 с), определяемого инерционностью глаза, возможно было высветить все элементы матрицы (около 400 тыс. шт.). Естественно, что механическим способом это осуществить невозможно, требуются электронные схемы. Так как электронные схемы неподвижны, они должны быть постоянно подключены к шинам матрицы. В них периодически должны возникать импульсы электрического тока, последовательно вызывающие ток в шинах, либо в этих схемах должны на короткое время создаваться замыкания, подключающие выбранные шины к источнику электрического напряжения. В последнем случае схемы носят ключевой характер. Однако подключения шин к источнику недостаточно для воспроизведения изображения. Необходимо еще изменение подключаемого напряжения по вполне определенному закону во времени для создания определенной яркости свечения каждой точки экрана.

Если конструктивно не удалось устранить кросс-эффект, то на неподключаемые в данный момент шины необходимо подать встречное напряжение, которое препятствует протеканию паразитного тока и уничтожает паразитное свечение.

Переключающими схемами могут быть дешифраторы, подключенные к шинам матрицы через управляющие элементы. Управляющие элементы подводят ток к шинам матрицы от источника видеосигнала. Дешифратор представляет собой избирательную систему в виде матрицы диодов (рис. 12). Он управляется сдвиговым регистром, состоящим из цепочки триггеров *Тг1* — *Тг3*.

Пусть в исходном состоянии все триггеры, являющиеся схемами с двумя устойчивыми состояниями, находятся в таком положении, что на выходах левых плеч (на рисунке заштрихованы) имеется напряжение, а на правых нет. Тогда только на первой выходной шине дешифратора будет напряжение за счет источника *u*, так как все диоды, подключенные к ней, заперты. Остальные выходные шины дешифратора заземлены, так как к каждой из этих шин подключен хотя бы один открытый диод. При поступлении пер-

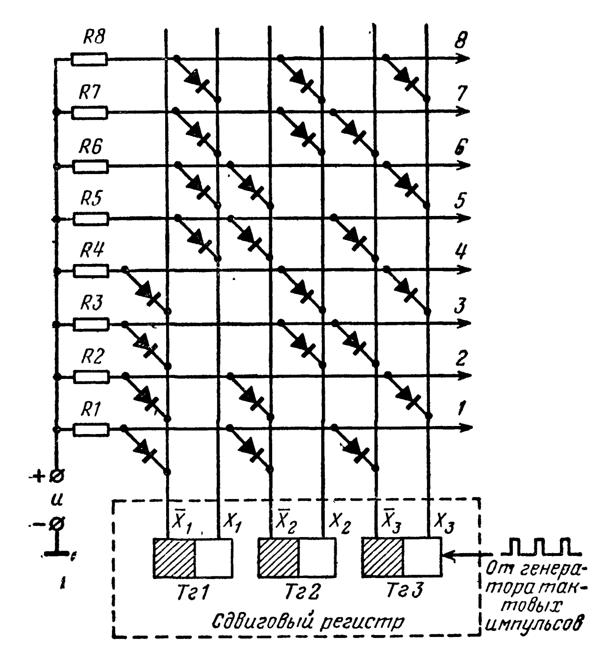


Рис. 12. Схема регистра на основе дешифратора.

вого тактового импульса триггер *Тг3* «перебрасывается» таким образом, что напряжение на левом плече исчезает и появляется на правом. В результате диоды, подсоединенные ко второй выходной шине, запираются и на ней появляется напряжение, а первая шина заземляется. При подаче второго тактового импульса триггер *Тг3* возвращается в исходное состояние, что вызывает перебрасывание *Тг2*. При этом появляется напряжение на третьей выходной шине дешифратора, а вторая заземляется и т. д. В результате подачи тактовых импульсов напряжение перемещается последовательно на очередные выходные шины дешифратора.

Дешифратор выдает разрешающие электрические импульсы на электронные ключи. Напряжение на шине матрицы экрана при этом не возникает, но ключ замыкает шину экрана на источник видеосигнала. Напряжение на шине и яркость коммутирующего элемента задаются амплитудой видеосигнала, подаваемого через управляющие элементы.

При подаче встречных напряжений схема управляющих элементов существенно усложняется. Особенно сложной схема управления является при коммутации матрицы на основе предпробойной электролюминесценции, так как требуется относительно высокое напряжение питания (около 300 В).

Таким образом, внешние схемы коммутации на основе обычных радиоэлектронных схем оказываются весьма сложными. Поэтому более перспективными окажутся, вероятно, специальные схемы коммутации, основные из которых описаны в последующих параграфах.

СДВИГАЮЩИЙ РЕГИСТР НА ОСНОВЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Для управления свечением матрицы электролюминесцентного экрана был предложен оригинальный сдвигающий регистр, последовательно подключающий шины матрицы к источнику видеосигнала [Л. 13].

Сдвигающий регистр представляет собой устройство из удлиненных стеклянных колбочек *1, 2,* наполненных инертным газом под малым давлением (рис. 13). Две газонаполненные колбочки *1, 2*

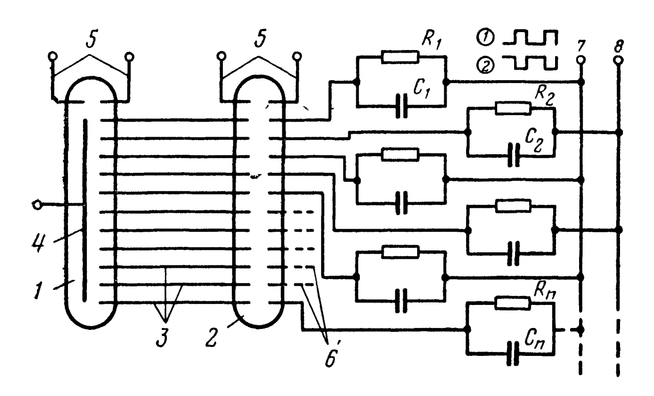


Рис. 13. Схема сдвигающего регистра на основе газоразрядных элементов.

помещены слева и справа от металлических горизонтальных шин *3* экрана. В колбочке *1* расположен длинный электрод *4,* отделенный газовым промежутком от электродов *3.* Сверху в колбочке расположены электроды поджига *5.* Колбочка *2* содержит по два электрода *3, 6* на каждую шину матрицы. Она служит для изоляции матрицы экрана от внешних электрических напряжений, которые могли бы вызвать паразитное свечение матрицы светоизлучающих элементов Электроды *6* через один подключены к шинам *7, 8* переноса заряда через параллельные *RC*-цепочки. На общий электрод *4* подается напряжение, достаточное для поддержания тлеющего разряда, но недостаточное для его зажигания в промежутках между электродами *3, 4* и *6.* На электроды поджига *5* подается запускающий импульс высокого напряжения, вызывающий зажигание газового тлеющего разряда. Далее запускающий импульс снимается,

и разряд в пусковом промежутке электродов *5* исчезает. Однако некоторое время вблизи электродов *5* и примыкающих электродов *3* и *6* сохраняется плазма, состоящая из свободных ионов и электронов. В связи с этим для зажигания газового разряда между электродами *3, 4* и *6* требуется пониженное напряжение (не требуется разгона электронов для ионизации атомов газа). Поэтому при подаче относительно невысокого импульса напряжения на шину *7* в цепи первой сверху шины матрицы возникает газовый разряд. На вторую шину матрицы через шину *8* в это время подается импульс противоположной полярности. Поэтому в ее цепи напряжение понижается и разряд не возникает. Хотя на третьей сверху шине матрицы также возникает зажигающий импульс, разряд не возникает, так как у ее электродов сравнительно мало плазмы. Таким образом, под действием импульсов на шинах *7* и *8* газовый разряд перешел с запускающего промежутка *5* в промежуток первой шины и ее электрическая цепь замкнулась. В результате протекания тока через первую шину заряжается емкость *RC*-цепочки. По мере заряда конденсатора *C* ток в промежутке первой шины падает. Поэтому появление импульса противоположной полярности на шине вызывает гашение разряда в цепи первой шины. Но при этом возникает разряд в цепи второй шины под действием импульса на шине *8*, так как в газовом промежутке второй шины имеются ионы, возникшие под действием разряда в газовом промежутке первой шины, и т. д.

Таким образом, под действием тактовых электрических импульсов противоположной полярности на шинах *7* и *8* газовый разряд переходит последовательно от шины к шине матрицы, подключая их к электроду *4*.

После прохождения газового разряда емкости *RC*-цепочек шин оказываются заряженными и на газовых промежутках этих шин напряжение понижено. Поэтому, хотя на них подаются тактовые импульсы, а в промежутках имеются свободные ионы (они существуют в течение миллисекунды), газовый разряд не возникает. Существенной особенностью такого сдвигающего регистра является использование возбуждения от предыдущего каскада для передачи возбуждения в последующий каскад регистра.

Состав и давление газа в колбочках подбираются такими, что переход разряда с одного промежутка на другой занимает несколько наносекунд. Сопротивления в цепях шин матрицы выбираются такими, чтобы обеспечивалась полная разрядка конденсатора при подготовке его к следующему циклу развертки. Аналогичный сдвигающий регистр применяется также и для переключения вертикальных шин матрицы. Между электродами *4* этих регистров прикладывается напряжение видеосигнала, вызывающее свечение элемента матрицы в перекрестии двух шин, подключаемых в данный момент к электродам *4* с помощью тлеющего разряда в газовых промежутках.

Один из важнейших недостатков любого газоразрядного устройства — *эрозия* электродов. Это происходит из-за того, что в процессе тлеющего разряда переносятся не только электроны и ионы инертного газа, но и частицы материала электродов, что приводит к разрушению электродов. Исследователи нашли очень удобный выход из положения. Они предложили периодически изменять полярность поддерживающего напряжения. При этом срок службы электродов сильно увеличивается из-за того, что частицы металла,

вырванные с одного электрода, оседают на нем же (теряется только малая часть частиц, которая оседает на стенках колбочки).

Напряжение питания для сдвигающего регистра имеет форму прямоугольных импульсов с короткими длительностями нарастания и спада. В испытываемых моделях [Л. 13] используется прямоугольное напряжение с полным размахом до 1,6 кВ и током около 1 мА. Для переноса газового разряда между шинами используется прямоугольное напряжение 30 В при токе около 100 мкА.

РАЗВЕРТКА УПРУГОЙ ВОЛНОЙ

Если в пьезоэлектрической пластине возбудить упругие колебания, то они будут сопровождаться электрическими колебаниями. Упругие колебания представляют собой периодические сжатия и растягивания вещества. Электрические колебания возникают вследствие пьезоэлектрического эффекта, состоящего в том, что при сжатии на некоторых веществах возникают электрические заряды. При некоторых частотах колебаний (20 Гц — 20 кГц) такие колебания воспринимаются ухом как звук, т. е. такие колебания являются *звуковыми*. При высоких частотах ухо не улавливает их, и колебания называются *ультразвуковыми*. Ультразвуковые колебания могут быть возбуждены путем короткого удара. В этом случае от места удара по пластине вещества будет распространяться участок сжатия. Если пластина вещества обладает пьезоэлектрическими свойствами, вместе с участком сжатия будет распространяться импульс электрического напряжения. Этот импульс можно использовать для питания светоизлучающих элементов экрана, которые будут высвечиваться.

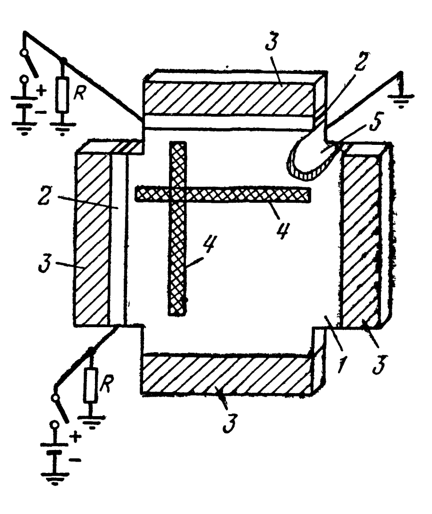


Рис. 14. Плоский экран с разверткой изображения упругой волной.

Создание строк экрана осуществляется с помощью двух ударных волн в пьезоэлектрической пластине *1* (рис. 14), создаваемых с помощью пьезомеханических датчиков *2*. Датчики представляют собой две проводящие полоски на пластине *1*. Между этими полосками прикладывается импульс электрического напряжения, под действием которого пластина под электродами резко сжимается и возникает удар. Участок сжатия далее распространяется по пластине *1* со скоростью звука. В местах сжатия появляется электрическое напряжение. Таким образом, по пластине *1* распространяются две полоски *4* электрических зарядов. В месте пересечения полосок возникает удвоенное напряжение, которое и используется для переключения светоизлучающих элементов. Это удвоенное напряжение

распространяется быстрее скорости звука в $\sqrt{2}$ раз. Оно образует строку. Место положения строки определяется задержкой ударов в пьезомеханических датчиках *2*. Изменяя эту задержку, можно прочертить всю площадь пластины *1*, равной площади экрана.

Для поглощения отраженных упругих волн к пластинке присоединены полоски *3* по периметру из мягкого материала.

Использование участка результирующего напряжения осуществляется путем нанесения электрода *5* с одной стороны пластины и слоя электролюминофора с другой стороны. На слой электролюминофора наносится прозрачный электрод, который замыкается с электродом *5*. Тогда поперек слоя электролюминофора действует электрическое напряжение, сопровождающее ударную волну и вызывающее свечение прилегающих участков электролюминофора. Однако, так как напряжение к слою электролюминофора приложено в форме пересекающихся полосок, свечение наблюдается в форме креста *4*. Таким образом обнаруживается кросс-эффект, хотя взаимно перпендикулярные проводящие шины отсутствуют. Для уменьшения кросс-эффекта между слоем электролюминофора и пластиной *1* располагается слой нелинейного сопротивления. Разрез поперек экрана изображен на рис. 15.

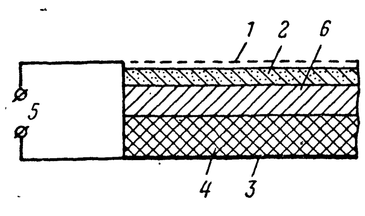


Рис. 15. Схематический разрез экрана с коммутацией импульсом упругой волны.

Между прозрачным электродом *1* со стороны электролюминофора *2* и электродом *3* со стороны пьезоэлектрической пластины *4* подведено напряжение видеосигнала *5*. Толщина слоя *6* нелинейного сопротивления выбирается такой, что его высокое сопротивление не уменьшается под действием электрического напряжения ударной волны, но резко падает под действием удвоенного напряжения в пересечении ударных волн. Через образовавшийся проводящий канал течет ток видеосигнала *5*, вызывая локальное свечение слоя *2* электролюминофора. Яркость свечения элементов слоя электролюминофора изменяется в соответствии с изменением амплитуды видеосигнала.

Типичная скорость распространения упругих волн в пьезокерамике равна приблизительно 3 600 м/с, скорость пятна при этом составляет 5 100 м/с. Такая скорость развертки дает возможность создать твердотельный экран с диагональю в 32 см. Удалось получить такой экран с размером светового пятна 3,5 мм при напряжении видеосигнала 166 В и напряжении в импульсе пьезоэлектрической пластины 333 В [Л. 14].

Существенным недостатком этого экрана является его высокая входная емкость, приводящая к большим токам видеосигнала; потребляемая мощность составляла не менее 0,3 Вт/см^2.

Уменьшение потребляемой мощности одновременно с уничтожением кросс-эффекта возможно достичь путем разрезки пьезоэлектрической пластины на полосы — строки, как это предложено в работе [Л. 15]. При этом возникает необходимость использования отдельного коммутатора строк для обеспечения последовательного возбуждения ударных волн в строках.

Проблема гашения отраженных волн, однако, одинаково трудно

решается в обоих вариантах. В том и другом случаях требуется усиление яркости воспроизведенного изображения. В работе [Л. 15] для усиления яркости предложено использовать МОП-транзисторы, о чем будет сказано в гл. 4.

НЕЙРИСТОРНЫЙ ИМПУЛЬС

Как можно видеть из сказанного ранее, для коммутации светоизлучающих элементов экрана требуются сложные схемы управления. В связи с этим представляют интерес методы управления разверткой, исключающие применение блоков разверток. В основе одного из таких методов лежит модель нервного волокна [Л. 19]. Вдоль нервного волокна, как известно, распространяется самопроизвольно с постоянной скоростью участок поперечного тока (т. е. вдоль поперечного сечения нерва) через возникающий канал. Поэтому модель нервного волокна вполне применима для коммутации светоизлучающих элементов [Л. 16]. При этом светоизлучающий элемент входит в состав модели нервного волокна, как это иллюстрируется разрезом поперек строки твердотельного экрана (рис. 16, *а*) и эквивалентной схемой элемента экрана (рис. 16, *б*).

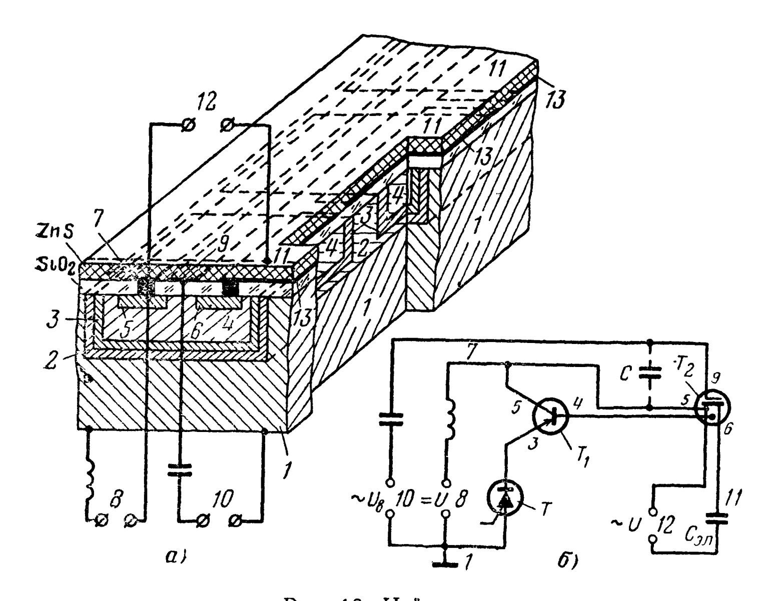


Рис. 16. Нейроскоп.
а — разрез поперек строки нейроскопа, *б* — эквивалентная схема элемента нейроскопа.

Экран состоит из кремниевой пластины *1*, в которой выложены с помощью планарной технологии изготовления микросхем слои *2* также из кремния, но противоположного типа проводимости. В слое *2* сформирован ряд ограниченных участков *3*, *4*, *5* из кремния чередующегося типа проводимости. Участки *1—4* образуют электронные

ключи, называемые тиристорами *Т*. Как отмечалось, тиристоры обладают свойством резко уменьшать свое сопротивление при приложении к ним электрического напряжения выше напряжения включения. При уменьшении напряжения до напряжения выключения тиристор резко повышает величину своего сопротивления, т. е. выключается.

Таким образом, строка экрана состоит из ряда тиристоров, объединенных общим слоем *2* и пластиной *1* полупроводника. В участках *4* сформированы области *5* и *6* противоположного участку *4* типа проводимости.

p-n переход *4—5* является нагрузочным для тиристора. Через него подается напряжение питания *8* с помощью металлической полоски *7*. Области *5* и *6* совместно с металлической полоской *9*, изолированной слоем двуокиси кремния SiO_2, образуют МОП-транзисторы. На слой двуокиси кремния нанесен слой электролюминофора ZnS с прозрачным электродом, показанным на рис. 16 пунктиром. Участки *11* слоя электролюминофора образуют электролюминесцентные конденсаторы $C_{эл}$. Величина емкости конденсатора $C_{эл}$ определяется размером металлизации *13*, контактирующей с областью *6*.

Электронно-дырочный переход, образуемый слоями *4* и *5*, служит нагрузкой тиристора и включен в запорном направлении. Участки *5* кремния объединены металлической полоской *7*, к которой подведено напряжение постоянного тока *8*, меньшее напряжения включения тиристоров. Сопротивление тиристоров в нормальном состоянии высокое, и напряжение *8* делится между сопротивлениями тиристора и электронно-дырочного перехода, образуемого слоями *4* и *5*. Сплошная пластина *1* кремния, слой *2* и ряд локальных участков *3—5* образуют модель нервного волокна, носящую название нейристорной линии, сокращенно *нейристор*.

Таким образом, нейристор состоит из ряда каскадов (участки *3*, *4*, *5*), объединенных сплошным слоем *2*. Тиристоры состоят из двух триодов, образуемых слоями *1—3* и *2—4* (см. рис. 10). Каждый из триодов приводит к усилению проходящего через него тока, причем сам коэффициент усиления увеличивается с ростом тока (см. гл. 2). Когда коэффициент усиления тока становится больше единицы, происходит резкое снижение сопротивления и тиристор включается. Рост коэффициента усиления можно вызвать путем увеличения тока через один из составных триодов тиристора, например подачей дополнительного напряжения в участок *3*. Это можно осуществить путем подачи электрического импульса напряжения в участок *3* первого каскада нейристора. При этом сумма коэффициентов усиления триодов *1—3* и *2—4* возрастает до единицы и электронный ключ (тиристор) включается. Ток через него возрастает и идет на зарядку емкости электронно-дырочного перехода *4*, *5*. По мере зарядки емкости ток уменьшается, приводя к снижению коэффициентов усиления триодов. Как только сумма коэффициентов усиления триодов снизится до значения меньше единицы, тиристор выключается, т. е. становится высокоомным. Теперь снова напряжение *8* делится между сопротивлениями тиристора и электронно-дырочного перехода *4*, *5*, а избыточные заряды емкости перехода *4*, *5* рассасываются. Время разрядки емкости перехода *4*, *5* существенно больше времени ее зарядки, так как зарядка ее происходит через низкое сопротивление включенного тиристора, а разрядка — через высокое сопротивление запертого перехода *4*, *5*. Электронный

ключ T (тиристор) носит название *клапана энергии,* а нагрузочная емкость перехода *4, 5* (коллектор триода T_1) называется ***накопителем*** энергии нейристора.

В процессе заполнения накопителя энергии (т. е. при зарядке емкости перехода *4, 5*) нейристора течет поперечный ток, выделяющий некоторое добавочное напряжение на прилегающем участке электронно-дырочного перехода *1, 2.* Так как на соседних участках перехода *1, 2* при этом нет добавочного напряжения, возникает разность потенциалов вдоль слоев *1* и *2.* Под действием этой разности потенциалов возникает ток, что эквивалентно подаче запускающего импульса напряжения к переходу *1, 2,* прилегающему ко второму тиристору строки. Под действием увеличившегося тока через прилегающий ко второму тиристору переход *1, 2* растет коэффициент усиления второго тиристора. В результате второй тиристор строки становится низкоомным и в его цепи также возникает ток зарядки емкости перехода *4, 5.* После этого второй тиристор становится высокоомным. Но теперь становится низкоомным третий тиристор и т. д. Таким образом, вдоль нейристора распространяется участок поперечного тока, называемый нейристорным импульсом. Нейристорный импульс формируется заново в каждом каскаде нейристора за счет зарядки емкости перехода *4, 5* и поэтому не затухает по длине нейристора (строки). Следовательно, длина нейристора не ограничена. Распространение нейристорного импульса сопровождается последовательным включением тиристоров, расположенных вдоль слоя *2.* Поэтому происходит последовательная зарядка емкостей C затворов ключей металл — окисел — полупроводник (МОП-транзисторов T_2), образуемых слоями алюминия *9,* окиси кремния SiO_2 и участками кремния *4.* Подробнее о МОП-транзисторах будет сказано в гл. 4. Зарядка этих емкостей происходит через включенные тиристоры под действием напряжения *10* видеосигнала. Так как напряжение видеосигнала *10* в каждый момент времени различно, различным оказывается заряд на емкостях C МОП-транзисторов. Этот заряд замыкает цепь между участками *5* и *6* кремния, что обеспечивает протекание тока к участку *11* электролюминесцентного слоя ZnS под действием напряжения *12,* приложенного между полоской алюминия *7* и прозрачным электродом, показанным на рисунке пунктиром. Величина заряда на емкости C МОП-транзистора определяет сопротивление между участками *5* и *6,* а поэтому величину тока и яркость свечения элемента слоя *11.* Эти заряды сохраняются после выключения тиристора, так что элемент слоя *11* продолжает высвечиваться с заданной яркостью. Яркость свечения различных каскадов различна и образует изображение. Яркость свечения сменяется при очередном приходе нейристорного импульса, когда величина зарядов на затворе МОП-транзистора приводится в соответствие с амплитудой видеосигнала. Скорость распространения нейристорного импульса по величине легко регулируется в широких пределах путем изменения напряжения питания *8* [Л. 17].

При увеличении напряжения питания *8* протекает бóльший ток на зарядку емкости перехода *4, 5* при включении тиристора, так как эта емкость заряжается до бóльшего напряжения. В результате вдоль слоя *2* ток также возрастает. Коэффициент усиления тока соседнего тиристора строки при этом, естественно, возрастает быстрее. Это приводит к более раннему включению соседнего тиристора, т. е. к более быстрой передаче импульса между каскадами нейристорной линии. Поэтому при увеличении напряжения пита-

ния *8* скорость распространения нейристорного импульса возрастает. При нанесении слоя электролюминофора в виде участков различной цветности свечения можно воспроизводить цветное изображение.

Нейристорные линии выкладываются в кремниевой пластине *1* с помощью слоев *2* и образуют строки изображения. Нейристорный импульс легко передается с конца одной строки на начало другой закорачиванием областей *3* крайних каскадов нейристора. Закорачивание производится путем нанесения проводящей полоски, расположенной между слоями *2*. Приход нейристорного импульса в крайний каскад нейристора означает включение тиристора. Это вызывает увеличение тока через переход *3, 4* закороченного тиристора, т. е. рост коэффициента усиления триода, образованного слоями *2—4*, и включение этого тиристора в начале очередной строки. Таким образом, в начале строки зарождается нейристорный импульс. Подобным образом можно соединить также каскады нейристора, расположенные в начале первой и в конце последней строк. В результате получается замкнутая нейристорная линия, так называемое кольцо памяти. Запущенный при включении напряжения питания *нейристорный* импульс будет распространяться по такому замкнутому нейристору все время, пока существует напряжение питания. Таким образом, нет необходимости использовать какие-либо управляющие блоки разверток, что весьма существенно упрощает схему телевизора без трубки.

Твердотельный экран с разверткой нейристорным импульсом получил название н е й р о с к о п [Л. 16].

Подстройка частоты воспроизведения кадров в нейроскопе осуществляется регулировкой напряжения питания *8* (рис. 16). Подстройка контрастности изображения выполняется регулировкой напряжения *10*, а яркости — регулировкой напряжения *12*.

При использовании кремниевых пластин создание экрана большой площади может быть осуществлено как путем использования пластин соответствующей площади, так и путем набора экрана из пластин малой площади. Соединение нейристорных линий отдельных пластин по возбуждению принципиально осуществляется соединением областей *3* крайних тиристоров аналогично соединению строк. Технологически такие соединения осуществляются либо с помощью термокомпрессионной сварки, либо с помощью металлических шариков, как и в больших интегральных схемах. Так как размеры элементов большого экрана достаточно велики (300 — 1 000 мкм), такие соединения не являются принципиально трудно осуществимыми.

Нейроскопы могут быть изготовлены также на гибкой подложке, если нейристорные линии изготовлять с помощью напыленных в вакууме ключей на основе аморфных [Л. 10] полупроводников. Необходимая для создания нейристора электрическая связь по слою аморфного полупроводника с отрицательным дифференциальным сопротивлением обнаружена экспериментально [Л. 23].

Заметим, что в нейроскопе отсутствуют перекрещивающиеся шины к светоизлучающим элементам, поэтому отсутствует кросс-эффект.

Глава четвертая

СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СРЕДНЕЙ ЯРКОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ ЯРКОСТИ И ИНЕРЦИОННЫХ ФОТОПРОВОДНИКОВ

Как упоминалось, в кинескопе возбуждение свечения на экране производится относительно быстро (около 100 нс) за счет высокой энергии и концентрации электронов в пучке. Затухание свечения происходит длительное время из-за ловушек. Поэтому точки мишени кинескопа светятся существенно дольше времени возбуждения. Это приводит к высокой средней яркости воспроизведенного изображения.

Длительность возбуждения электролюминесценции, однако, по времени совпадает с длительностью высвечивания, т. е. электролюминесценция практически не обладает послесвечением. Поэтому при создании твердотельного экрана важно найти способ увеличения средней яркости изображения.

Лишь при использовании матрицы светоклапанных ячеек из жидкого кристалла и сегнетоэлектрика не требуется усиления средней яркости изображения, так как просветление сохраняется долгое время. В случае жидких кристаллов просветление сохраняется из-за медленного разрушения рассеивающих центров, в случае сегнетоэлектрических ячеек — за счет длительности сохранения частичной поляризации. В этих случаях, однако, требуется устройство для стирания информации путем подачи напряжения перед воспроизведением каждого кадра изображения. Кроме того, такие матрицы непосредственно не пригодны для создания бытовых телевизоров, так как процесс просветления ячеек слишком инерционен (см. гл. 1).

Один из способов увеличения средней яркости изображения состоит в использовании усилителей яркости.

Усилитель яркости представляет собой отдельное твердотельное устройство — пластину, заключенную между проводящими электродами. Пластина состоит из нескольких слоев веществ, расположенных на стеклянной панели *1* (рис. 17, *а*). Эквивалентная схема элемента усилителя яркости иллюстрируется рис. 17, *б*.

Главными слоями служат слои фотопроводящего материала, например сернистого кадмия или селена *2*, и слой электролюминофора *3* из сернистого цинка. Они расположены между проницаемыми электродами *4* и *5*, к которым подведено переменное напряжение $\sim U$. Без освещения фотопроводящего слоя *2* напряжение сосредоточено в основном на его высоком сопротивлении и электролюминесцентный слой *3* не светится. При освещении фотопроводящего слоя *2* его сопротивление уменьшается и напряжение переключается на слой электролюминофора *3*, вызывая его свечение. Яркость свечения электролюминофора определяется величиной приложенного напряжения и может быть сделана существенно выше освещенности фотопроводника, т. е. происходит усиление яркости. Неравномерное освещение фотопроводящего слоя вызывает соответствующее неравномерное свечение электролюминесцентного слоя, т. е. наблюдается усиление яркости изображения.

Для сосредоточения напряжения питания на неосвещенном фотопроводящем слое необходимо уменьшать емкость фотопроводника

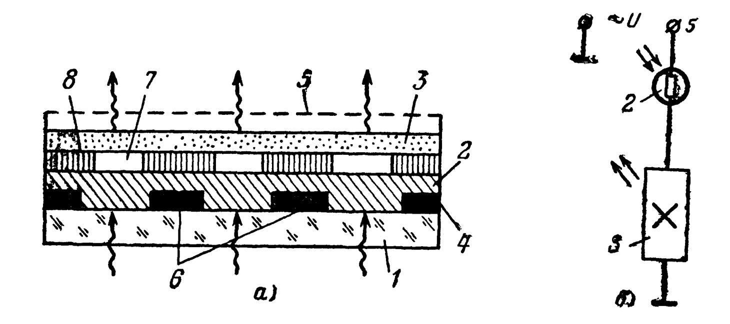


Рис. 17. Усилитель яркости.
а — конструкция; б — эквивалентная схема элемента усилителя яркости.

2. В одной из возможных конструкций [Л. 18] это достигается путем изготовления прерывных контактов *6, 7* к фотопроводящему слою, смещенных друг относительно друга и поэтому образующих малую емкость. Для уменьшения влияния свечения электролюминесцентного слоя на сопротивление фотопроводника между слоями *2* и *3* располагается непрозрачный изолирующий слой *8*, что необходимо также для уменьшения размера светящегося пятна, т. е. для увеличения разрешающей способности. Технологически такой усилитель яркости изготовляется из трех отдельных частей. Слой фотопроводника *2* с электродом *6*, имеющим круглые отверстия, наносится напылением в вакууме на стеклянную пластину *1*. Диэлектрическая пленка из кептона с островками *7* индия изготовляется отдельно. Отдельно изготовляется также эластичная пленка электролюминофора *3* (из застывшего лака с вкрапленными зернами сернистого цинка) с прозрачным электродом *5*. Свечение электролюминофора основано на явлении предпробойной электролюминосценции. Диэлектрическая пленка и пленка электролюминофора накладываются на стеклянную пластину *1* со стороны фотопроводящего слоя *2*, сдавливаются и нагреваются. Индиевые островки расплавляются и проникают в слой фотопроводника, скрепляя устройство и образуя контакт между слоем фотопроводника и электролюминофора. С помощью усилителя яркость светлых деталей изображения на экране повышается до 170 св/м^2 [Л. 18]. Потребляемая мощность порядка 20 Вт при экране больших размеров, толщина панели по всей площади 0,25 мм.

Примером совмещения матрицы электролюминесцентных элементов с усилителем яркости, имеющим инерционный фотопроводящий слой, является конструкция, рассматриваемая в работе [Л. 13].

На матрицу из электролюминесцентного слоя *1* (рис. 18), расположенного между скрещенными шинами *2, 3*, наносится слой фотопроводника *4*. На слой *4* нанесена сетка из проводящих полосок *5*, в ячейках которой расположены точечные электроды *6*, контактирующие с элементами электролюминесцентного слоя *7* через диэлектрическую пленку *8* из кептона. Высвечивающее напряжение подключается между сеткой *5* и сплошным прозрачным электродом *9*. При отсутствии напряжения на элементах электролюминофора *1* фото-

проводящий слой *4* имеет высокое сопротивление, размыкает цепь высвечивающего электролюминофор *7* напряжения, и свечение этого слоя отсутствует. При подаче напряжения на перекрестие *2* и *3* возникает локальная вспышка в слое *1*, вызывающая понижение сопротивления прилегающего участка фотопроводящего слоя *4*. Сопротивление между сеткой *5* и близлежащим электродом *6* понижается и замыкает цепь прилегающего участка слоя электролюминофора *7*. Цепь замкнута на длительное время, равное инерционности фотопроводимости слоя *4*. В течение этого времени происходит высвечивание участка слоя *7*, приводящее к увеличению яркости изображения за счет энергии отдельного источника питания, подключаемого между электродами *5* и *9*. Элементы фотопроводящего слоя *4* служат своеобразными запоминающими элементами. Они запоминают уровень яркости элементов слоя *1*. Эта яркость запоминается в виде уровня понижения сопротивления элемента фотопроводящего слоя *4*. Длительность запоминания равна инерционности фотопроводимости, т. е. инерционность фотопроводимости используется для увеличения яркости.

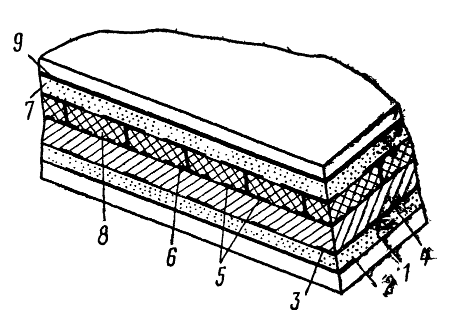


Рис. 18. Плоский экран телевизора с использованием усилителя яркости изображения.

Трудностью использования такого способа усиления яркости является необходимость достижения существенного понижения сопротивления фотопроводящего слоя (минимум в 20 раз) при длительности освещения 100 нс и инерционности фотопроводимости около 20 мс. Конечно, за такое короткое время величина фотопроводимости не может достичь максимального значения, так как количество фотонов света недостаточно для создания высокой концентрации свободных электронов. Поэтому для уменьшения сопротивления фотопроводящего слоя в 20 раз за время 100 нс, существенно меньшее инерционности фотопроводимости 20 мс, требуется создать очень яркую вспышку света элемента электролюминесцентного слоя *1*. В работе [Л. 13] удалось достигнуть уменьшения сопротивления фотопроводника в 100 раз. При этом средняя яркость белого изображения увеличивается до 170 св/м^2. Так как дополнительные слои для усиления яркости весьма тонкие, они фактически не приводят к утолщению экрана (общая толщина панели равна 0,25 мм).

В работе [Л. 13] проиллюстрирована конструкция цветного телевизионного экрана. В этом случае электролюминесцентный слой *7* изготовляется из островков над электродами *6*, имеющих чередующийся цвет свечения (синий, зеленый и красный). Соответственно число горизонтальных шин матрицы слоя *1* увеличивается в 3 раза. Для возбуждения нужного перекрестия матрицы слоя *1* используются фазовые соотношения сигналов, подаваемых на шины *2*, *3*. Сигнал, несущий информацию о яркости изображения, подается на горизонтальные шины, а сигнал, определяющий цветность свечения,

подается на вертикальные шины. При сложении яркостного и цветового сигналов возникают всплески напряжения в нужных элементах матрицы слоя *1*. Амплитуда этих всплесков определяет яркости свечения определенного цвета, что и приводит к воспроизведению цветного изображения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

Линия задержки используется для накопления энергии видеосигнала за время воспроизведения строки [Л. 5]. Линия задержки состоит из серии каскадов, каждый из которых включает в себя индуктивность L и емкость C (рис. 19).

Механизм заполнения электрическим сигналом линии задержки происходит приблизительно следующим образом [Л. 5а].

При подаче на вход линии задержки электрического напряжения происходит заряд первой емкости C. Заряд второй емкости при этом практически не происходит, так как на второй индуктивности возникает в соответствии с правилом Ленца э. д. с., препятствующая возникновению и увеличению тока. После окончания зарядки первой емкости входной импульс напряжения оканчивается или изменяется по величине; пусть он уменьшается. При этом первая емкость не разряжается через первую индуктивность, так как при уменьшении тока возникает э. д. с. в соответствии с правилом Ленца, поддерживающая ток прежнего направления. Первая емкость в это время разряжается на вторую емкость линии задержки. Таким образом вдоль линии задержки распространяется электрическая волна. Время перехода волны через один каскад равно $t_{\text{зад}} = \sqrt{LC}$ и является временем задержки одним каскадом. Подавая серию импульсов на вход, можно заполнить линию задержки так, что каждая емкость линии будет нести соответствующий вполне определенный заряд. Этот заряд непосредственно сразу после заполнения линии задержки используется для воспроизведения изображения.

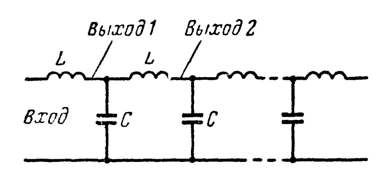


Рис. 19. Линия задержки.

Для высвечивания матрицы электролюминесцентных элементов на ее горизонтальную шину поступает электрический импульс выборки строки и одновременно в цепь каждой вертикальной шины подается видеосигнал с каскадов линии задержки. Все вертикальные шины получают видеосигнал одновременно, а не последовательно.

Первоначально серия импульсов видеосигнала подается на вход линии задержки. Импульсы видеосигнала распространяются по линии задержки за время воспроизведения строки. После заполнения линии задержки емкость каждого каскада линии оказывается заряженной до амплитуды видеосигнала, соответствующего яркости элементов изображения вдоль строки. Далее подается кратковременный селектирующий электрический импульс, вызывающий подключение каскадов линии задержки к вертикальным шинам матрицы через ключевые триоды, накопительные емкости шин матрицы и усилители постоянного тока. Под действием импульсов видеосигнала на емко-

стях линии задержки заряжаются накопительные емкости шин матрицы, напряжение на которых управляет яркостью свечения элементов матрицы. Каскады линии задержки далее отключаются от вертикальных шин и осуществляется заполнение линии задержки видеосигналом для высвечивания элементов последующей строки матрицы экрана.

Линия задержки должна быть нагружена в конце на согласованное сопротивление, чтобы в процессе нового заполнения оставшийся от предыдущего заряд вышел из линии и не привел к искажению величины нового заряда.

Перед окончанием заполнения линии задержки прекращается высвечивание предыдущих строк путем разряда накопительных емкостей шин матрицы под действием импульса сброса. Далее подается импульс выборки очередной строки и осуществляется подключение к накопительным емкостям вертикальных шин емкостей каскадов линии задержки с помощью селектирующего импульса. Происходит высвечивание элементов матрицы очередной строки и т. д.

У нас нет возможности более подробно проиллюстрировать сказанное из-за сложности и специфичности электрической схемы твердотельного экрана. Читатели могут подробнее ознакомиться с этим вопросом в работе [Л. 5]. Отметим лишь, что недостатком такого способа усиления яркости является сложность схемы управления (на каждую вертикальную шину матрицы светоизлучающих элементов требуется не менее 20 компонентов микросхем, на горизонтальную — не менее 10 компонентов). При этом, однако, свечение элемента матрицы растягивается только на длительность воспроизведения строки (а не кадра) изображения, в результате чего усиление яркости оказывается недостаточным для нормального наблюдения изображения.

ПОВЫШЕНИЕ ЯРКОСТИ С ПОМОЩЬЮ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

МОП-транзисторы позволяют повысить яркость изображения путем использования энергии постороннего по отношению к видеосигналу источника.

МОП-транзистор (рис. 20) представляет собой два электронно-дырочных перехода p-n^+, называемых истоком И и стоком Ст. Эти переходы покрыты металлической пленкой *1*, изолированной пленкой диэлектрика *2*. Пленка *1* называется затвором. Подача напряжения на затвор (вывод *3*) положительной полярности приводит к скоплению электронов в p-областях, т. е. к заряду емкости затвора. Емкость затвора образована электродом *1* и областью p, изолированными слоем диэлектрика *2*. При приложении напряжения на электрод *1* положительной полярности на ней скапливаются положительные заряды, а в области p — отрицательные заряды (электроны). Число этих электронов может достигнуть такого количества, что p-область около пленки *2* превращается в n-область, а между истоком И и стоком Ст возникает проводящий канал (исчезают электронно-дырочные переходы между ними). Это явление называется эффектом

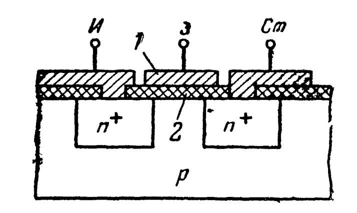


Рис. 20. Схематический разрез МОП-транзистора.

поля. Величины этого проводящего канала и его сопротивление изменяются при изменении напряжения на затворе *3*, т. е. при изменении числа электронов в p-области у слоя *2*.

Свойство появления замыкания между истоком и стоком МОП-транзистора и может быть использовано для усиления яркости изображения. Для этого цепь исток — сток применяется в качестве включателя для подключения напряжения к светоизлучающему элементу. Светоизлучающий элемент при этом светится под действием энергии источника напряжения за все время, пока существует проводящий канал между истоком и стоком. Непрерывное поступление энергии от источника напряжения к светоизлучающему элементу приводит к увеличению яркости воспроизведенного изображения.

Использование МОП-транзистора сочетается с коммутацией перемещающимися проводящими каналами или источника электрического поля (доменов, упругой волны и др.) в твердом теле. В работе [Л. 22] усиление яркости с помощью МОП-транзисторов использовано при коммутации нейристорным импульсом (рис. 16, *а*). Эквивалентная схема элемента экрана приведена на рис. 16, *б*.

Как уже упоминалось ранее, элемент нейристорной линии состоит из тиристора-ключа T, нагруженного на триод T_1. Формирование нейристорного импульса в элементе нейристорной линии происходит в результате включения тиристора T под действием напряжения *8* (U на рис. 16, *а, б*). Включение тиристора T приводит к зарядке емкости C затвора МОП-транзистора T_2 под действием напряжения видеосигнала *10* ($U_в$) до некоторого напряжения, существующего в данный момент. Емкость C затвора МОП-транзистора образована электродом *9* и областью *4* полупроводника, изолированными слоем двуокиси кремния SiO_2.

При заряде емкости C затвора МОП-транзистора возникает проводящий канал между истоком *5* и стоком *6*. Через образовавшийся проводящий канал между истоком *5* и стоком *6* МОП-транзистора начинает течь ток под действием стороннего источника напряжения *12* ($\sim U$), вызывающий свечение электролюминесцентного конденсатора $C_{эл}$ ($C_{эл}$ — емкость прилегающего к МОП-транзистору участка слоя электролюминофора *11*). Величина светящегося участка электролюминесцентного слоя ZnS определяется размером металлического электрода *13*. Уровень свечения $C_{эл}$ определяется напряжением заряда емкости C затвора МОП-транзистора.

Переход нейристорного импульса к очередному каскаду нейристорной линии означает выключение тиристора T и изоляцию емкости C затвора МОП-транзистора от напряжения *10*. Далее заряды на емкости C сохраняются, вызывая свечение электролюминесцентного конденсатора $C_{эл}$ в отсутствие нейристорного импульса под действием напряжения *12* в течение всего времени воспроизведения кадра изображения. Это увеличение времени свечения и приводит к усилению яркости изображения. Смена уровня свечения $C_{эл}$ происходит при очередном приходе нейристорного импульса, когда осуществляется перезаряд емкости C, т. е. приведение в соответствие зарядов на ней с амплитудой видеосигнала. При приходе нейристорного импульса тиристор T становится низкоомным, подключая напряжение *10* к емкости C. В результате емкость C заряжается до амплитуды видеосигнала в момент прихода нейристорного импульса. Сопротивление проводящего канала между истоком *5* и стоком *6* МОП-транзистора соответственно изменяется и происходит смена яркости эле-

мента *11* слоя ZnS. Величина этой яркости сохраняется до очередного прихода нейристорного импульса.

В работе [Л. 15] использовано аналогичное усиление яркости изображения при развертке импульсом упругой волны. Эквивалентная схема элемента экрана приведена на рис. 21.

В полоске *П* пьезоэлектрика распространяется импульс упругой волны, возбуждаемый расположенным на торце полоски пьезомеханическим датчиком путем подачи электрического импульса (гл. 3). Распространяющийся импульс упругой волны сопровождается распространением участка электрического напряжения. При подходе участка электрического напряжения под электроды *1* на них возникают электрические заряды.

Под действием напряжения, снимаемого с электродов *1*, заряжается емкость затвора МОП-транзистора *2*, что приводит к возникновению проводящего канала между его истоком и стоком. Через возникший канал МОП-транзистора *2* заряжается емкость затвора МОП-транзистора *3* под действием напряжения видеосигнала $U_в$. Это вызывает появление канала в МОП-транзисторе *3*, что приводит к появлению свечения светодиода *4* под действием напряжения *U*. Далее импульс упругой волны передвигается по полоске *П* и напряжение на электродах *1* исчезает. Сопротивление исток—сток МОП-транзистора *2* становится высоким, изолируя заряды на затворе МОП-транзистора *3* от внешней цепи. Свечение светодиода *4* происходит длительное время, хотя импульс напряжения на затворе МОП-транзистора *2* оканчивается, так как высокое сопротивление между истоком и стоком МОП-транзистора *2* приводит к сохранению зарядов на емкости затвора МОП-транзистора *3*. Смена свечения светодиода *4* происходит при очередном приходе импульса напряжения на емкость затвора МОП-транзистора *2*, когда приводится в соответствие напряжение на емкости затвора МОП-транзистора *3* и амплитуда видеосигнала. Увеличение длительности свечения светодиода воспринимается как усиление яркости изображения. В работе [Л. 15] обнаружено сохранение свечения арсенид-фосфид-галлиевого светодиода в течение 100 с при длительности импульсов видеосигнала 0,1 мкс. На телевизионных экранах телевизора длительность кадра равна 0,04 с. Для создания высокой яркости изображения достаточно сохранения свечения светоизлучающего элемента в течение 0,04 с. Экспериментальные данные [Л. 15] показали, что такое время сохранения свечения светодиода *4* может быть легко достигнуто.

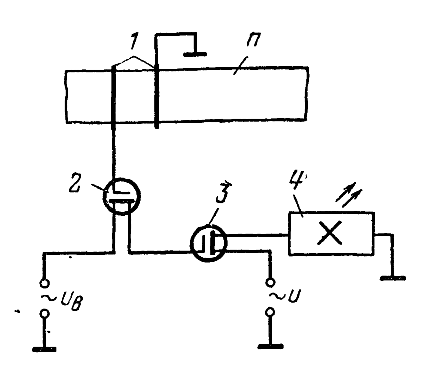


Рис. 21. Эквивалентная схема элемента экрана с разверткой упругой волной и накоплением на МОП-транзисторах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как можно видеть из предыдущего изложения, направления работ по созданию телевизоров без трубки весьма разнообразны. Попытаемся дать их сравнительный анализ.

Решающее значение в уменьшении габаритов, массы и потребляемой мощности твердотельных экранов имеют способы управления разверткой матриц светоизлучающих элементов. Как уже упоминалось, расположение светоизлучающих элементов в перекрестиях проводящих шин приводит к существенному уменьшению числа выводов и, следовательно, количества каскадов коммутаторов. Однако при этом появляются трудности с уничтожением кросс-эффекта. Кроме того, за счет шунтирования рабочего элемента матрицы окружающими элементами возникает существенно высокая емкость матрицы. Так как напряжение видеосигнала является высокочастотным (свыше 5 МГц), емкостное сопротивление матрицы оказывается малым. Поэтому ток видеосигнала относительно высок. Хотя этот ток носит в основном реактивный характер, он приводит к выделению значительной мощности на сопротивлениях каскадов коммутаторов.

Необходимость усиления яркости изображения требует применения специальных сложных устройств. В работе [Л. 5] для накопления сигнала, приводящего к усилению яркости, применена линия задержки. Это привело к существенному усложнению схемы и увеличению ее габаритов, как это можно видеть из рис. 1 при сравнении размеров непосредственно экрана и расположенного под ним блока управления. Однако и при этом удается растянуть свечение элементов матрицы лишь на время воспроизведения строки, а этого недостаточно для получения нормально яркого изображения. Требуется дополнительный усилитель яркости.

Интересным является способ увеличения яркости с помощью инерционности фотопроводимости. В этом случае все слои, входящие в состав экрана, являются тонкими и допускают возможность создания гибкого твердотельного экрана. Однако к фотопроводящему слою в нем предъявляются противоречивые требования. С одной стороны, фотопроводящий слой должен обладать высокой инерционностью, необходимой для усиления яркости, с другой стороны, должен изменять свое сопротивление за весьма короткое время освещения, равное времени коммутации элемента изображения. Сохраняется также проблема уничтожения паразитного свечения (кросс-эффекта) при большом числе элементов матрицы.

Интересными являются способы управления, использующие непосредственную коммутацию выводов от каждого светоизлучающего элемента если, конечно, при этом отсутствует необходимость изготовления этих выводов. Необходимость изготовления выводов от светоизлучающих элементов отпадает в том случае, если технологически световые элементы располагаются непосредственно на каскадах коммутаторов. В качестве выводов светоизлучающих элементов используются внутренние соединения в твердом теле. Так как в этом случае отсутствуют перекрещивающиеся шины, кросс-эффект вообще не возникает. Это уже само по себе является весьма положительной особенностью этих способов разверток.

Такие способы развертки могут осуществляться с помощью доменов сильного поля, импульсов упругих (ударных) волн и импульсов в моделях нервного волокна (нейристорах).

Для создания доменов сильного поля, однако, требуются весьма совершенные (ненарушенные) кристаллы вещества. Из-за отсутствия таких кристаллов большого размера их конкурентоспособность в ближайшее время, по-видимому, весьма сомнительна. Кроме того, домены сильного поля возникают в относительно низкоомных веществах при достаточно высоких полях. Это приводит к сильному разогреву кристаллов при многострочном воспроизведении изображения, т. е. к непроизводительному выделению энергии [Л. 20].

Использование импульсов упругих волн снимает проблему теплоотвода при механическом разделении строк. Однако возникает потребность в строчном коммутаторе. Кроме того, при использовании упругих волн довольно трудно решается проблема гашения отраженных волн.

Как при использовании доменов сильного поля, так и упругих волн размер твердотельного экрана жестко ограничен (около 30 см), так как их скорость распространения нерегулируема и равна скорости распространения звука в твердом теле. Эти недостатки отсутствуют при использовании нейристорного импульса, скорость распространения которого регулируется в широких пределах путем изменения напряжения питания [Л. 17]. Нейристорный импульс автоматически передается между строками, что ликвидирует необходимость применения каких-либо блоков разверток (коммутаторов). Кадровая синхронизация осуществляется путем запуска синхроимпульсами нейристорного импульса в начале нейристорной линии. Строчная синхронизация легко осуществляется путем подачи синхроимпульсов в цепь источника постоянного тока. Эти синхроимпульсы приводят к зарождению импульса только в очередной строке под действием подходящего к ней нейристорного импульса.

При изготовлении нейристорных линий из наносимых путем испарения слоев аморфных полупроводников, обладающих отрицательным дифференциальным сопротивлением [Л. 10], принципиально возможно изготовление гибкого твердотельного экрана. С развертками на основе самопроизвольно распространяющихся импульсов (в том числе нейристорных импульсов) удачно сочетается способ усиления яркости изображения с помощью МОП-транзисторов, впервые предложенный в работе [Л. 22]. В качестве светоизлучающих элементов наиболее целесообразно использовать электролюминофоры на основе предпробойной электролюминесценции, так как инжекционная электролюминесценция требует относительно высоких токов, которые трудно обеспечить с помощью МОП-транзисторов малых размеров. Для создания таких твердотельных экранов с успехом могут быть использованы электролюминесцентные слои с напряжением питания 30—50 В.

Вместе с тем экспериментальное подтверждение потенциальных преимуществ нейроскопов пока выполнено недостаточно. В настоящее время не ясна степень сложности проблемы обеспечения идентичности свойств по всей площади экрана, хотя однородность электролюминесцентного слоя на большой площади доказана работами по созданию экранов матричного типа, а требования к однородности свойств приборов с отрицательным сопротивлением представляются не очень жесткими, так как они выполняют функции ключевых компонентов, а не делителей напряжения. Не ясны оптимальные пути создания экрана большой площади. Принципиально экран большой площади может быть создан путем использования аморфного полупроводника или набора из монокристаллических пластин,

соединенных с помощью термокомпрессии или металлических шариков, как это осуществляется в больших интегральных схемах. Решение этих проблем выявит конкурентоспособные нейроскопы.

Проблема создания твердотельных телевизионных экранов в настоящее время еще не решена в научном и конструкторском плане и нуждается в больших усилиях исследователей. Предстоит найти способ создания экрана большой площади при простой конструкции и технологии изготовления. Возможно, что такой способ кроется среди описанных или их комбинаций. Возможно, что потребуются новые идеи.

Надо признать, что нерешенность проблемы создания твердотельного экрана продолжает вызывать приток новых идей. Например, стал известен способ переноса заряда по поверхности полупроводника с помощью электрических тактовых импульсов [Л. 21]. Его можно использовать и в твердотельных экранах. Во всяком случае все описанные конструкции твердотельных экранов так или иначе нуждаются в подаче высокочастотного сигнала (это или видеосигнал, или управляющие тактовые импульсы) на проводящие шины, имеющие значительную электрическую емкость. При этом возникают относительно высокие емкостные токи. И хотя эти токи сами по себе реактивные, не выделяющие тепловой энергии, мощность выделяется на различного рода ключевых элементах или на внутреннем сопротивлении источника. Проблема уменьшения емкостного тока еще требует своего принципиального решения и слово за Вами, дорогой читатель!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Симада С.** На пути к телевизору с плоским экраном.— «Электроника», 1968, т. 41, № 8, 3—13.

2. **Применение** электронной техники. Плоские индикаторы.— «Радиоэлектроника за рубежом», 1968, № 49, с 34—39.

2а. **Епифанов Г. И.** Физические основы микроэлектроники. М., «Советское радио», 1971, 376 с.

3. **Левин С. Н.** Основы полупроводниковой микроэлектроники. М., «Советское радио», 1966, 244 с.

4. **Разработка** твердотельных индикаторов.— «Радиоэлектроника за рубежом», 1969, № 5, с. 40—42.

5. **Иосияма М.** Разработка плоского телевизионного экрана.— «Электроника», 1969, № 6, с. 27—32.

5а. **Гаевич В. Н.** Радиотехника. М., Воениздат, 1959, 368 с.

6. **Кастеллано И. А.** Цветные системы отображения на жидких кристаллах.— «Электроника», 1970, т. 43, № 14, с. 3—11.

6а. **Greagh L. T.** a. o. Performance characteristics of nematic liquid crystal display devices.— «IEEE Trans. on Electron Devices», vol. ED-18, 1971, № 9, p. 672—679.

7. **Тейлор Ж. В.** и др. Возможность построения электрооптических устройств на основе сегнетоэлектрика титаната висмута.— «ТИИЭР», 1970, № 8, с. 48—62.

8. **Катыс Г. П.** Оптико-электронная обработка информации. М., «Машиностроение», 1973, 448 с.

9. **Кузьмин В. А., Сенаторов К. Я.** Четырехслойные полупроводниковые приборы. М., «Энергия», 1967, 184 с.
10. **Ovschinsky S. P.** U. S. Patent 3.271.591, 1966, Sept. 6.
11. **Сурета Т.** и др. Нейристор на объемном полупроводнике с использованием эффекта Ганна.— «ТИИЭР», 1968, т. 56, с. 115—116.
12. **Робертсон Г. И., Сэндбнек С. П.** Интегральные полупроводниковые устройства в системах передачи и воспроизведения изображений.— «Электроника», 1969, т. 42, № 3, с. 35—40.
13. **Мирандо** и др. На пути к созданию плоского телевизора.— «Электроника», 1970, № 11, с. 24—30.
14. **Яндо С.** Индикаторное устройство на твердом теле.— «ТИРИ», 1962, № 12, с. 2469—2476.
15. **Investigation** of display techniques using elastic surface waves and local storage.— «IEEE J. of Solid—State Circuits», 1970, SC-5, № 5, p. 244—249.
16. **Золотарев В. Ф.** Безвакуумные аналоги телевизионных трубок. М., «Энергия», 1972, с. 216.
17. **Бешанов А. М., Золотарев В. Ф.** и др. Исследование свойств нейристорной линии на основе планарно-эпитаксиальных тиристоров.— «Радиотехника и электроника», 1971, № 2, с. 399—403.
18. **Stewart R. D.** A solid-state image converter.— «IEEE Trans. on Electron Devices», 1968, ED-15, № 4, p. 220—225.
19. **Золотарев В. Ф., Стафеев В. И.** Способ безвакуумного воспроизведения телевизионного изображения. А. С. № 223138, 1967. Опубл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1969, № 7.
20. **Замфир Г. Н., Золотарев В. Ф.** Фотоэлектрический преобразователь изображения (ФЭПИ) на основе доменов сильного поля.— «ФТП», 1970, т. 4, № 9, с. 1714—1718.
21. **Приборы** с поверхностным переносом заряда — новые элементы полупроводниковых цифровых и аналоговых устройств.— «Электроника», 1972, № 5, с. 24—44.
22. **Золотарев В. Ф., Кравченко Л. Н., Ощепков Н. А.** Плоский телевизионный экран (нейроскоп). А. С. № 310419 (СССР). Опубл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1971, № 23.
23. **Schuöcker D.** Thermal switching in thin glass films triggered by a control electrode. «J. Appl. phys.», 1973, vol. 44, № 1, p. 310—313.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 15 коп.

